

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет аграрних технологій та екології
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу викопування картоплі з удосконаленням бадиллебрального апарата картоплекопача»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм-21
спеціальності 208 Агроінженерія
за освітньо-професійною програмою
«Агроінженерія»

Дорошенко А.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник Юхимчук С.Ф.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дацюк Л.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет	<i>аграрних технологій та екології</i>
Кафедра	<i>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</i>
Галузь знань	<i>20 Аграрні науки та продовольство</i>
Освітній ступінь	<i>магістр</i>
Спеціальність	<i>208 Агроінженерія</i>
Освітньо-професійна програма	<i>Агроінженерія</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса

доцент, к.т.н. _____ В.В. Сацюк
«10» січня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Дорошенко Андрію Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу викопування картоплі з
удосконаленням бадиллебрального апарата
картоплекопача

керівник роботи Юхимчук Сергій Федорович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом ЛНТУ від «10» січня 2023 р. № 11/01-02

2. Термін здачі студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

	к-сть листів
1. Вихідні дані	1 лист
2. Теоретичні положення	2 лист
3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4. Результати експериментальних досліджень	1 лист
5. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова)	1 лист
6. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	15.06. – 01.07.2023 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	22.08 – 31.08.2023 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2023 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2023 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2023 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2023 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2023 р.	
10	Нормоконтроль	до 09.12.2023 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	09.12.– 19.12.2023 р.	

Студент

_____ (підпис)

Дорошенко А.П.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Юхимчук С.Ф.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис)

Сацюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дорошенко А. - Дослідження процесу викопування картоплі з удосконаленням бадиллебрального апарата картоплекопача. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» спеціальності 208 - Агроінженерія. Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2023.

Основний зміст кваліфікаційної роботи магістра викладено на 65 сторінках друкованого тексту. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань із 20 найменувань та 3 додатків, а також має 14 рисунків і 5 таблиць. Повний обсяг роботи становить 68 сторінок.

У даній роботі магістра обгрунтовано функціональну та принципову схеми нового картоплекопача. На основі і теоретичних досліджень картоплекопача і бадиллебрального апарата було визначено параметри дисково-пальцевого бадиллебрального апарата. Розроблено креслення конструкції бадиллебрального апарата картоплезбиральної машини. Отримано диференційне рівняння, яке описує взаємодію пальця брального диска картоплезбиральної машини з бадиллям картоплі під час виконання процесу його переміщення і скидання. Визначено шорсткість поверхні стебла бадилля картоплі. Отримано профілограми і визначені значення характеристик мікрогеометрії в різних частинах стебла. Дослідження статичний розтяг бадилля картоплі. У результаті двофакторного експерименту отримано регресійну залежність максимального зусилля брання від кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса брального апарата.

Ключові слова: картоплекопач, сепаратор, бральний апарат, леміш, бульба, бадилля, ґрунт.

ABSTRACT

Doroshenko A. - Digging potatoes process study with improvement of the topspulling apparatus of the potato digger. Manuscript.

Qualification work of masters for the educational-professional program "Agroengineering" specialization 208 - Agricultural engineering. Lutsk National Technical University, Lutsk, 2023.

The main content of the master's thesis is laid out on 65 pages of printed text. The work consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references from 20 names and 3 appendices, and also has 14 figures and 5 tables. The full volume of the work is 68 pages.

In this work of the master the functional and principle schemes of the new potato digger are substantiated. On the basis of theoretical studies of the potato digger and the badillebral apparatus, the parameters of the disc-finger badillebral apparatus were determined. A drawing of the design of the potato harvester's body-lebral device has been developed. A differential equation was obtained that describes the interaction of the finger of the pick-up disk of the potato harvester with the top of the potato during the process of its movement and reset. The roughness of the surface of the stem of the top of the potato was determined. Profilograms were obtained and the values of the characteristics of microgeometry in different parts of the stem were determined. Study of static stretching of potato tops. As a result of a two-factor experiment, the regression dependence of the maximum pulling force on the angle of inclination of the fingers of the pulling disk and the deformation of the pulling cone of the pulling apparatus was obtained.

Key words: potato digger, separator, pulling apparatus, ploughshare, tuber, tops, soil.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	2
АНОТАЦІЯ	3
ABSTRACT.....	4
ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ	
ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1 Механіко-технологічні властивості картоплі та їх вплив на технологічний процес збирання бульб.....	10
1.2 Аналіз конструкцій бадиллевидаляючих робочих органів картоплезбиральних машин	14
1.3 Запропонована розробка	19
1.4 Постановка мети і завдання дослідження	21
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ	22
2.1 Відомості про технологічні процеси та обґрунтування функціональної схеми картоплекопача	22
2.2 Продуктивність та завантаження копача картоплі і бадиллебрального апарата	24
2.3 Енергетичний розрахунок копача картоплі	25
2.4 Розрахунок бадиллебрального апарата картоплекопачки.....	27
2.5 Гідравлічний розрахунок привода брального апарата.....	34
2.6 Аналіз процесу переміщення бадилля пальцем брального диска.....	36
2.7 Висновки.....	39
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
3.1 Програма експериментальних досліджень	40
3.2 Опис експериментальних установок та апаратури, що використовується при експериментальних дослідженнях.....	41

3.3	Методика статистичної обробки даних.....	43
3.4	Методика дослідження шорсткості поверхні бадилля картоплі..	46
3.5	Методика дослідження закономірностей при статичному розтязі бадилля картоплі	47
3.6	Методика дослідження сукупного впливу кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса на максимальне зусилля брання.....	47
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....		49
4.1	Визначення шорсткості поверхні бадилля картоплі	49
4.2.	Дослідження закономірностей при статичному розтязі бадилля картоплі.....	51
4.3	Дослідження сукупного впливу кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса на максимальне зусилля брання	53
4.4	Висновки.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ		61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....		63
ДОДАТКИ		65

ВСТУП

Картоплярство одна з галузей сільськогосподарського виробництва, робота в яких пов'язана із значними енерговитратами і витратами праці. Збирання картоплі є досить трудомістким процесом. Затрати праці на збирання складають 45-60% загальних затрат праці на вирощування картоплі.

Специфічні труднощі механізації збирання картоплі пов'язані головним чином з тим, що плоди цієї культури знаходяться під поверхнею ґрунту. Існують два методи збирання коренебульбоплодів: бранням (висмикуванням) плодів за гичку і підкопування їх разом із ґрунтом.

Аналіз агротехнічних і фізико-механічних характеристик рослин картоплі в різних зонах вирощування і в різні строки збирання показує, що картопля поширених сортів найбільш надійно і повно може бути зібрана машинним методом тільки при використанні принципу збирання, котрий оснований на підкопуванні шару ґрунту з бульбоплодами і наступній сепарації їх від ґрунту. Для отримання товарних бульб машина повинна відділити їх від великої кількості ґрунту.

Проблема здійснення процесу сепарації в машинах для викопування картоплі зумовлена рядом факторів, основні з яких наступні: незначна кількість бульб в підкопуваній масі ґрунту (не більше 2%); сильна чутливість бульб до механічних дій; несприятливих для сепарації фізико-механічні властивості ґрунту; різка зміна властивостей ґрунту в залежності від вологості; наявність в ґрунті каміння, кореневищ, бур'янів і інших домішок.

У зв'язку з ростом фермерства та дрібних господарств виникла гостра потреба у малопотужній і продуктивній техніці, котра змогла б задовольнити потреби користувача. Тому всі зусилля були направлені на розробку малопотужного і малогабаритного копача картоплі, котрий забезпечував порівняно з невеликими затратами викопування бульб і відділення їх від ґрунту. На даний час існують малопотужні копачі картоплі, але вони або не пошкоджують бульбоплоди, або не низький рівень сепарації підкопаної маси.

З цього випливає, що розробка нових та вдосконалення вже існуючих бадиллевидаляючих, викопуючих та сепаруючих робочих органів є основою для забезпечення якісних показників роботи картоплезбиральних машин.

Нами пропонується машина, котра виконує одночасно два технологічні процеси: очищення грядки від бадилля та підкопування шару ґрунту, що містять плоди картоплі. Машина агрегується з вітчизняним енергетичним засобом, низького класу тяги – 2 кН.

Мета роботи – поєднання двох технологічних операцій (очищення грядки від бадилля та викопування бульб картоплі) в одній машині завдяки розробці бадиллебрального апарата картоплекопача та обґрунтування його параметрів і режимів роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити задачу, що полягають у теоретичному та експериментальному дослідженні системи, яка складається із бадилля, бульб картоплі, ґрунту і робочих органів картоплекопача, для визначення раціональних параметрів машини з врахуванням агротехнічних вимог до картоплезбиральної техніки.

Об'єкт дослідження – процес брання бадилля картоплі, стебла бадилля, бадиллебральний апарат картоплезбиральної машини.

Предмет дослідження – взаємодія бадиллебрального апарата з бадиллям картоплі, а також вплив його параметрів та режимів роботи на показники якості процесу брання бадилля картоплі.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень вищої математики, теоретичної механіки, теорії механізмів і машин. Експериментальні дослідження виконувались на основі загальноприйнятих методик із застосуванням вимірювальної апаратури, а також з використанням теорії планування багатофакторного експерименту. Для обробки експериментальних результатів досліджень застосовані основні методи математичної статистики. Експериментальні дані опрацьовували за допомогою прикладних програмних пакетів Microsoft Excel, Компас, Statistica.

У даній магістерській роботі обґрунтовано функціональну та принципову схеми нового картоплекопача. На основі і теоретичних досліджень картоплекопача і бадиллебрального апарата було визначено параметри дисково-пальцевого бадиллебрального апарата. Розроблено креслення конструкції бадиллебрального апарата картоплезбиральної машини. Отримано диференційне рівняння, яке описує взаємодію пальця брального диска картоплезбиральної машини з бадиллям картоплі під час виконання процесу його переміщення і скидання. Визначено шорсткість поверхні стебла бадилля картоплі. Отримано профілограми і визначені значення характеристик мікрогеометрії в різних частинах стебла. Дослідження статичний розтяг бадилля картоплі. У результаті двофакторного експерименту отримано регресійну залежність максимального зусилля брання від кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса брального апарата.

Результати даної наукової роботи мають теоретичне і практичне значення. Вони можуть бути використані при розробці нового картоплекопача та для перевірки і визначення оптимального режиму його роботи.

Результати роботи можуть бути використані для наступних дисертаційних досліджень. А також будуть корисними для спеціалізованих установ, які займаються розробленням та удосконаленням картоплезбиральної техніки.

Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень роботи доповідались на III студентській науково-технічній конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». факультету аграрних технологій та екології ЛНТУ [8].

Логіка дослідження зумовила структуру роботи магістра: вступ, 4 розділи, загальні висновки, перелік джерел посилання із 20 найменувань, 3 додатків. Загальний обсяг 69 сторінок.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Фізико-механічні властивості бадилля картоплі та їх вплив на технологічний процес збирання картоплі

Стебло картоплі тригранне і лише у небагатьох сортів багатогранне. У місцях з'єднання граней на ребрах стебел утворюються вирости зеленої тканини, звані крила, які є сортовідмінною ознакою. За кількістю стебел сорти діляться на малостеблові і багатостеблові, характером розгалуження стебла – на сорти, стебло яких розгалужується переважно у нижньому ярусі (пізніші), і сорти, стебло яких знизу не гілкується (швидкостиглих сортів).

Фізико-механічні властивості бадилля залежать від ступеня зрілості рослини. Зелене бадилля недозрілої картоплі має менші міцність, довжину, товщину стебел в порівнянні з бадиллям дозрілої картоплі. В одному кущі може бути від 1 до 10 стебел, а в окремих випадках і більше; середня довжина стебел становить 60-90 см, максимальна – 2 м; діаметр бадилля біля основи 4-20 мм, щільність бадилля в ущільненому стані 133 кг/м³ [13]. Положення бадилля на поверхні поля дуже невизначене і залежить від ряду факторів: сорту картоплі, агротехніки обробітку, погодних умов та інших факторів. Положення бадилля в полі характеризувати математично важко. У таблиці 1.1 наведено розмірно-масову характеристику бадилля картоплі.

Ступінь полегкості бадилля можна характеризувати коефіцієнтом полегкості k , що є відношенням суми висот стебел кущів, заміряних в природному положенні, до суми довжин тих же стебел у витягнутому положенні. При слабкій полегкості $k > 0,75$, при середній $k = 0,5-0,75$; при сильному $k = 0,3-0,5$; при дуже сильному $k < 0,3$. слабка полеглість бадилля спостерігається лише у недозрілої картоплі. У міру дозрівання, а також після заморозків бадилля лягає, що унеможливорює застосування для збирання картоплі машин брального типу.

Таблиця 1.1. - Розмірно-масова характеристика бадилля картоплі

Показник	Сорт				
	Рив'єра	Беллароза	Тайфун	Санте	Партнер
Число стебел у кущі	5,3	4	6,9	3,8	4,9
Довжина стебла, см	56,1	65,7	92,1	81	66,8
Урожай, ц / га	87,4	131,2	117,9	151,1	69,2

Дані про зусилля брання та розриву стебел бадилля наведено в таблиці 1.2. [13]

Таблиця 1.2 - Зусилля брання та розриву стебел, кг

Діаметр стебел біля основи, мм	Середнє зусилля брання	Середнє зусилля розриву, на відстані від кореня бадилля, см		
		5	15	20
5,0-6,0	7,5	25,5	18,0	14,7
6,5-8,0	9,8	27,5	30,4	21,6
8,5-10,0	14,9	41,2	34,3	24,5
10,5-12,0	15,2	47,1	47,0	30,2

У ранньостиглих сортів міцність бадилля менше, ніж у середніх та пізніх сортів. Зусилля розриву стебла з віддаленням від основи зменшується (для тонких стебел діаметром 5-6 мм – від 26 до 15 кг). Міцність стебла на розрив (біля його основи) перевищує приблизно втричі зусилля, необхідне для брання.

Коефіцієнти тертя значно коливаються. Для бадилля по сталі, наприклад, вони становлять від 0,74 до 0,47. Це пояснюється головним чином неоднорідністю матеріалу. Коефіцієнт тертя бадилля по гумі майже 1,5 рази більше ніж по сталі, і майже такий самий, як по ґрунті.

В залежності від ґрунтово-кліматичних умов і розміру площі посадки картоплі, застосовують три основні технології збирання:

1. викопування бульб картоплекопачами з укладанням їх на поверхню і подальшим ручним підбиранням;
2. збирання картоплекопачами з причіпними робочими столами, на яких робітники вручну вибирають бульби і вантажать їх у тару;
3. збирання комбайнами.

Технологічний процес збирання картоплі незалежно від застосовуваних засобів механізації включає наступні основні операції: підкопування (викопування) бульб, відділення (сепарація) бульб від ґрунту, відрив бульб від бадилля, видалення бадилля і рослинних домішок, відділення каменів і інших домішок, завантаження в тару або транспортні засоби. Можуть бути і додаткові операції: попереднє видалення бадилля або сортування бульб на фракції. При збиранні картоплі з сильно розвиненим бадиллям для запобігання забивання робочих органів, як найпростіших машин, так і комбайнів бадилля попередньо видаляють. Видалення бадилля (хімічним або механічним способом) полегшує не тільки роботу машин, але і праця робітників, зайнятих на підборі бульб після картоплекопачів.

Збирання копачами застосовують в основному на середніх і важких ґрунтах підвищеної вологості, де неможливе комбайнове збирання, а також на насіннєвих і невеликих ділянках з поперечним ухилом понад 3°. При збиранні картоплі копачами механізована лише одна операція – викопування бульб. Для підбору їх зазвичай виділяють бригаду – 30-35 чоловік. Вони, як правило, поєднують добірку з ручним завантаженням мішків з картоплею в поруч стоїть причіп або автомашини. В результаті чого збільшуються витрати праці і часу на збирання цієї культури. Погано використовуються транспортні засоби, корисна зайнятість яких становить 10...12% робочого часу. Решта припадає на простій під завантаженням і вивантаженням.

Картоплекопач з причіпними перебірними столами дозволяє отримати кондиційну картоплю шляхом вибірки бульб робітниками і затарюванням їх у

мішки з допомогою відповідних пристосувань. Перевагою цих картоплекопачів порівняно із звичайними є полегшення умов праці робітників, а порівняно з картоплезбиральними комбайнами дещо менше пошкодження бульб. Цей спосіб доцільно застосовувати при збиранні ранньої і насінневої картоплі. Однак такий спосіб збирання можливий тільки в умовах легких ґрунтів. При використанні причіпних перебірних столів витрати праці можуть бути знижені на 20-30% порівняно з підбиранням бульб вручну з поверхні поля.

Комбайнове збирання картоплі ведуть трьома способами: прямим і роздільним комбайнуванням та комбінованим способом. Застосування того чи іншого способу збирання залежить від конкретних умов.

Пряме комбайнування застосовують на легких і середніх ґрунтах при задовільною і хорошою сепарації, коли комбайн може впоратися з відділенням ґрунту й інших домішок від бульб. На цих же ґрунтах, але при підвищеній вологості робочі органи комбайна перевантажуються. Для створення оптимальних режимів роботи картоплезбиральних комбайнів в різних ґрунтово-кліматичних умовах передбачені регулювання їх вузлів і агрегатів. Збирання прямим комбайнуванням економічно ефективна на полях з урожайністю не менше 100 ц/га

Роздільний спосіб збирання застосовують, коли комбайн не справляється з сепарацією ґрунту через підвищену його вологість і може працювати лише на I передачі трактора зі швидкістю 1,6 км/ч. при цьому способі картоплекопач-валкоукладач відокремлює основну частину ґрунту від домішок і укладає бульби у валок на поверхні поля. Покладений валок просихає, і його підбирають комбайном, обладнаний підбирачем. Кількість рядів, що укладаються у валок, вибирають в залежності від врожаю і засміченості грядки камінням, грудками ґрунту та іншими домішками.

Комбіноване збирання застосовують на супіщаних, середніх і легких суглинних ґрунтах (незалежно від кліматичних умов) з хорошою фільтрацією, що мають оптимальну вологість і забезпечують задовільну сепарацію ґрунту. На таких ділянках при прямому комбайнуванні робочі органи комбайна

працюють з недовантаженням, зростає кількість пошкоджених бульб, оскільки вони переміщуються по транспортерах без ґрунтового прошарку. Комбінований спосіб збирання картоплі дозволяє усунути зазначені недоліки, збільшити продуктивність комбайна і скоротити число проходів по полю. Суть комбінованої збирання полягає в наступному. Бульби з двох або чотирьох рядів укладають карторлекопачем-валкоукладчиком в міжряддях двох сусідніх неприбраних грядок. Утворений валок прибирають за один прохід комбайном з підбирачем, який одночасно з викопуванням двох залишених неприбраних грядок підбирає лежачі між ними у валку бульби.

Залежно від призначення, умов та часу реалізації картоплі збирання може проводитися за трьома технологіями:

1. Потокова - комбайн (копач) —► транспортний засіб —► сортувальний пункт —► транспортний засіб —► сховище або відправлення на реалізацію;

2. Перевалочна - комбайн (копач) —► транспортний засіб —► тимчасове зберігання протягом двох-трьох тижнів —► сортування з перегородкою —► сховище або відправлення на реалізацію;

3. Прямочна - комбайн (копач) —► транспортний засіб —► сховище.

1.2 Аналіз конструкцій бадиллевидаляючих робочих органів картоплезбиральних машин

В даний час існують бадиллевидаляючі машини, з різними робочими органами для видалення бадилля (рис. 3.1), які за принципом дії діляться на пасивні та активні [1, 2].

До пасивних робочих органів ставляться: плосконіжні, дугоподібні.

Недоліками пасивних робочих органів є швидке затуплення леза, збільшення тягового опору і вимоги до підвищеної швидкості руху машини.

До активних робочих органів відносяться: дискові, шнекові, щіткові, стрічкові, барабанні, лопатеві, роторні.



Рисунок 1.1 – Класифікація бадиллевидаляючих робочих органів

Недоліком дискових бадиллевидаляючих робочих органів є інтенсивне зношування певних ділянок ріжучої кромки, що призводить до погіршення якості обрізання бадилля. Крім того заміна ріжучих елементів, що вийшли з ладу, вимагає значних витрат часу і коштів.

Стрічкові бадиллевидаляючі робочі органи через складність і низьку експлуатаційну надійність (дуже часто забиваються землею і рослинними залишками) не знайшли застосування в збиральних машинах.

Дослідженнями, проведеними у різних зонах України, виявлено, що застосування щіткових бадиллевидаляючих робочих органів є малоефективним з наступних причин: недостатня повнота відділення бадилля (54-67%); швидке зношування і злам прутків.

Недоліками шнекових робочих органів є: неповне відділення бадилля, громіздкість конструкції, велика металоємність і складність у виготовленні. Пристрої зі шнековими робочими органами доцільно застосовувати лише при масивному обсязі бадилля і бур'янів на полях.

Лопатеві бадиллевидаляючі робочі органи з горизонтальною віссю обертання мають невисокі якісні показники, оскільки бичі, відчуваючи значні опори повітря, згинаються, при цьому збиваюча дія невелика з тієї причини, що в початковий момент удару бич буде впливати на рослинну крону і притискати

бадилля до землі. Як результат цього - зменшується швидкість ударної взаємодії між бичем та бадиллям, а вона чинить вирішальний вплив на якість роботи бадиллевидаляча.

Основним недоліком барабанних робочих органів є те, що видалення бадилля відбувається тільки за рахунок удару, при якому кути атаки вибиваючого елемента змінювати не можна. При зниженні швидкості обертання не забезпечується видалення бадилля, а при збільшенні відбувається неякісний обрив. Крім того, пристрій вимагає великих витрат енергії на привод, оскільки робочий орган має значну вагу.

Використання роторних косарок, що володіють багатьма перевагами (високі продуктивність і надійність, універсальність та ін), не вирішує проблему механізованого обрізання бадилля через незадовільне копіювання косарками рядів, що позначається на нерівномірності зрізу бадилля і пошкодження бульб. При використанні машин з даними робочими органами істотна кількість відмов відбувалася через злам і вигин ножів роторів - як наслідок це призводять до зламів роторів, руйнування підшипників валу ротора, зламу маточини роторів, що говорило про погану захищеність елементів ріжучого апарату від влучення каменів [15].

Пристрої для попереднього видалення бадилля можуть бути скомпоновані у вигляді окремих самостійних машин або змонтовані як окремі вузли на рамі комбайнів перед підкопуючими робочими органами. В даний час відомі три типи бадиллевидаляючих пристроїв: бральні, ріжучі, дробильні.

Бральні робочі органи цікаві тим, що видаляють захоплені стебла бадилля повністю, не залишаючи черешків і стolonів на бульбах. Досліджували ряд бадиллебральних апаратів різних типів, у тому числі шнекороліковий бадиллевидаляч з обертовими назустріч один одному роликками і клинопасовий апарат, який використовується в льонозбиральних машинах. У цьому апараті підняте ліфтерами бадилля захоплюється клиновими пасами і подається на відвідний транспортер.

Бральні апарати обох типів виявилися практично непрацездатними через забивання бадиллям ліфтерами, намотування її на шнеки і пробуксовування клиноподібних пасів. Крім того, вони забезпечували малий відсоток брання бадилля і захоплювали бадилля на великій висоті по відношенню до поверхні грядки. Дисковий бадиллебральний апарат (рис. 1.2, а), складається з брального диска 2 з пальцями і скидаючого диска 1. Кут між суміжними пальцями становить 15° . Основним робочим органом бадиллевидаляча такого ж типу з рухомими пальцями (рис. 1.2, б) є диск 4 з пальцями 3.

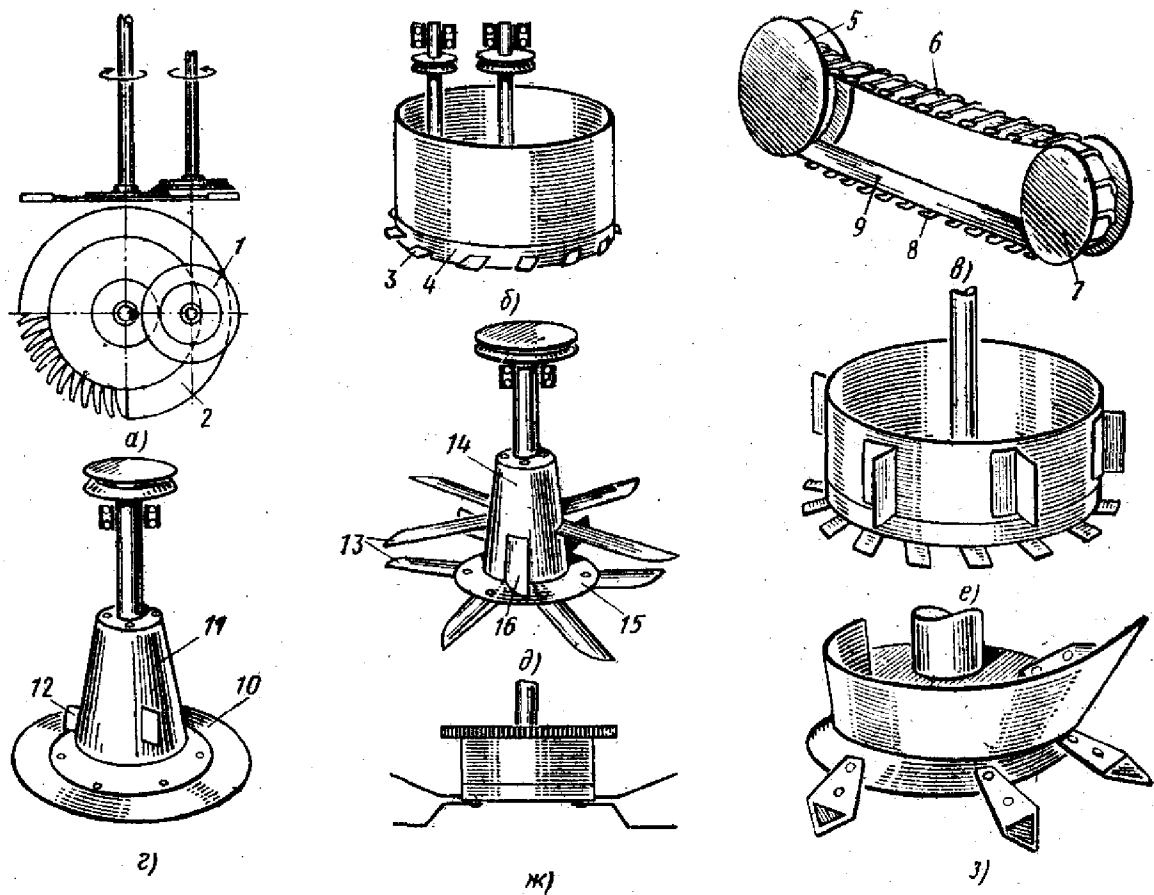


Рисунок 1.2 - Схеми бадиллевидаляючих робочих органів

Дискові бадиллевідокремлювачі мають ряд серйозних недоліків. Бадилля в них намотується на вертикальні вали, що обертаються; забиваються просвіти між пальцями, пошкоджуються бульби; через те, що бральний диск найбільш ефективно працює за умови занурення в ґрунт, частина бадилля скидається в міжряддя.

Всі зазначені недоліки притаманне бадиллевідокремлювачам як з нерухомими, так і з рухомими пальцями. Перевагою бадиллевідокремлювача останнього типу є можливість самоочищення пальців від ґрунту та рослинності внаслідок рухливості пальців і відсутність намотування бадилля на барабан.

Апарат стрічкового типу з зацімлюючими шипами (рис. 1.2, в) складається з привідного 5 і веденого 7 шківів, плоского паса 6, на якому закріплені шипи 8. Брання здійснюється нижній віткою 3 паса. Дослідження показали, що апарат такого типу має порівняно з бральними апаратами інших типів кращі показники. Максимальну повноту брання бадилля стрічковий апарат забезпечує при швидкості стрічки 1,2-1,3 м/с; при швидкості понад 3 м/с повнота брання зменшується, а кількість розірваних стебел зростає внаслідок того, що при підвищених швидкостях процес брання переходить в процес дроблення.

Дисковий бадиллеріз (рис. 1.2, г) складається з сферичного диска 10, конічного барабана 11 з лопатями 12 на ньому для відкидання зрізаного бадилля. Максимальне видалення бадилля сферичним диском не перевищує 45 % при глибині ходу диска в ґрунті 3 см, колової швидкості 15 м/с і куті встановлення робочого крайки щодо поверхні грядки 5° . Недоліком є те, що диск може працювати тільки при зануренні в ґрунт, так як пружність стебел бадилля не перевищує зусилля, необхідного для їх зрізу, і відбувається відштовхування стебел дисками. При збиранні картоплі з довгим бадиллям останнє намотується на обертовий конічний барабан.

Радіально-шаблевидний бадиллеріз (рис. 1.2, д) має 12 шаблевидних ножів 13, розташованих у два яруси в шаховому порядку і закріплених на конічному кожусі 14 і диску 15. При русі апарату уздовж грядки ножі зрізують бадилля, а лопаті 16 відкидають її в бік прибраного поля.

Близькі за конструктивним оформленням та принципом дії до даного апарату циліндричний бадиллеріз (рис. 1.2, е), встановлений на однорядному комбайні фірми Пакман (Англія), конічний (рис. 1.2, ж) шарнірно-закріпленими

ножами - на картоплезбиральному комбайні фірми Амаzone (Німеччина) і плоский (рис. 1.2, з) - на комбайні фірми Самро (Швейцарія).

Результати випробування цих бадиллерісів показали, що циліндричний, конічний і плоский бадиллеріси зрізують не більше 50% бадилля. Найбільш повне видалення бадилля відбувається при заглиблення ножів бадиллеріса на 2-3 см в ґрунт. Однак у цьому випадку ножі пошкоджують бульби, розташовані близько до поверхні. Бадилля полегли і розташоване в міжряддях бадиллеріси не захоплюють. При роботі комбайнів на полях з полеглими рослинами бадиллеріси видаляють бадилля не більш ніж на 30%.

Аналіз науково-технічної та патентної інформації показав, що широке поширення в бадиллевидаляючих машинах на практиці отримали роторні, дискові та лопатеві робочі органи, які знайшли застосування при збиранні бадилля картоплі.

Аналізуючи переваги та недоліки існуючих конструкцій бадиллевидаляючих робочих органів можна зробити висновок, що актуальним є розробка бадиллебрального механізму нової конструкції.

1.3 Запропонована розробка

У зв'язку з потребами фермерства та дрібних господарств у малопотужній і продуктивній техніці, котра змогла б задовольнити потреби користувача, наші зусилля були направлені на розробку малопотужного і малогабаритного копача картоплі, котрий забезпечував порівняно з невеликими затратами викопування бульб і відділення їх від ґрунту. Також пропонуємо обладнати картоплекопачку бадиллебральним апаратом і тим самим виключити з технологічного процесу збирання операцію скошування бадилля.

Картоплекопачка, яка проектується призначена для виконання таких технологічних операцій:

- попереднє очищення грядок від бадилля та спрямування його під опорно-привідні колеса;

- підкопування рядка з картоплею;
- сепарація бульб від ґрунту;
- викидання їх на поверхню поля.

Попереднє очищення рядка картоплі від рослинних решток відбувається за рахунок бральних апаратів, які встановлені перед підкопуючим лемешем. При русі агрегату, бральний апарат захоплює стебла рослин, що знаходяться над поверхнею рядка, витягує їх з ґрунту разом з корінням та переміщає у зону кочення опорних коліс машини. В ході переміщення, рослини звільнюються від захоплення гумовим конусом та падають під опорні колеса, які притискають рослинну масу у міжряддя. Ця технологічна операція дозволяє відчутно облегшити роботу наступних робочих органів, тому що вони вже будуть взаємодіяти з відносно однорідною масою, яка складається з ґрунту, кам'яних включень і бульб.

Леміш, який розташований в кінці зони брання бральних апаратів, підрізає шар ґрунту чим полегшує процес витягування рослин. Підрізаний шар ґрунту, який очищений від рослинних залишків, кришиться і спрямовується лемешем на сепаратор. Призначення лемеша полягає в тому, що він повинен повністю підрізати шар та, частково розпушивши бульбоносний шар, транспортувати його на наступні робочі органи, не залишаючи поза собою бульбоплоди,.

Завершальною в даній машині є технологічна операція сепарації, яка є найважливішою у технологічному процесі збирання картоплі. Шар ґрунту, який частково зруйнований лемешем, подається на сепаруючий робочий орган. Сама операція сепарації бульб від ґрунту включає в себе такі етапи: зворушування шару ґрунту, просіювання ґрунту та кам'яних домішок за розмірами меншими 30 мм, транспортування бульб картоплі за межі сепаруючого робочого органу. Порівняно з машинами-аналогами сепаратор клавішного типу дозволяє повністю відокремити бульби від ґрунту на малій робочій довжині. Це дає змогу спростити конструкцію машини та знизити матеріаломісткість.

Очищені бульби картоплі від бадилля, ґрунту та кам'яних включень укладаються на поверхні поля в межах підкопуючого рядка.

Після механізованого підкопування і очищення бульбоплодів від ґрунту їх вручну підбирають з поверхні поля.

1.4 Постановка мети і завдання дослідження

Мета роботи – поєднання двох технологічних операцій (очищення грядки від бадилля та викопування бульб картоплі) в одній машині завдяки розробці бадиллебрального апарата картоплекопача та обґрунтування його параметрів і режимів роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати конструкції бадиллевидаляючих робочих органів картоплезбиральних машин та окреслити напрями підвищення ефективності їх роботи.

2. У даній роботі необхідно обґрунтувати функціональну та принципову схеми нового картоплекопача, а також провести розрахунок його вузлів.

3. Розробити конструкцію бадиллебрального апарата картоплезбиральної машини та ідентифікувати головні його параметри і режими роботи;

4. Розробити математичну модель процесу взаємодії пальця брального диска картоплезбиральної машини з бадиллям картоплі під час виконання процесу його переміщення і скидання.

4. Дослідити шорсткість поверхні стебла бадилля картоплі та провести дослідження статичного розтягу бадилля картоплі.

5. Розробити лабораторну установку для визначення залежності максимального зусилля брання стебла бадилля картоплі від кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса брального апарата та провести досліди використовуючи математичний метод планування експерименту.

Ці завдання виконані. Нижче подані отримані результати цих досліджень.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ

2.1 Відомості про технологічні процеси та обґрунтування функціональної схеми картоплекопача

Роздільний спосіб збирання картоплі застосовується там де через ґрунтово-кліматичні та інші умови ускладнюється застосування даних способів. При цьому способі бульби викопують і частково очищають картоплекопачами, які залишають бульби на поверхні поля. Після підсихання бульби підбирають вручну.

Копач картоплі, що проектується призначений для виконання таких технологічних процесів (рис.2.1):

- попереднє очищення грядок від бадилля і спрямування його під опорно-привідні колеса;
- підкопування одного рядка картоплі;
- відокремлення (сепарація) бульбоплодів від ґрунту;
- укладання їх на поверхні поля.

Попереднє очищення грядки від рослинних решток відбувається за допомогою бральних апаратів, встановлених перед підкопуючим лемешем. При русі агрегату, бральний апарат захоплюючи вітки рослин, що знаходяться над поверхнею рядка, витягує їх із ґрунту разом з кореневою системою і транспортує у зону кочення опорних коліс машини. В ході транспортування, рослини звільняються від захоплення гумовим конусом і попадають під опорні колеса, котрі укладають рослинну масу у міжряддя. Дана технологічна операція дозволяє відчутно полегшити роботу наступних робочих органів, так як вони вже будуть взаємодіяти з відносно однорідною масою, що складається з ґрунту, кам'яних включень та бульбоплодів.

Леміш, що розташований в кінці зони брання бральних апаратів підрізаючи шар ґрунту полегшує процес витягування рослин. Підрізаний шар

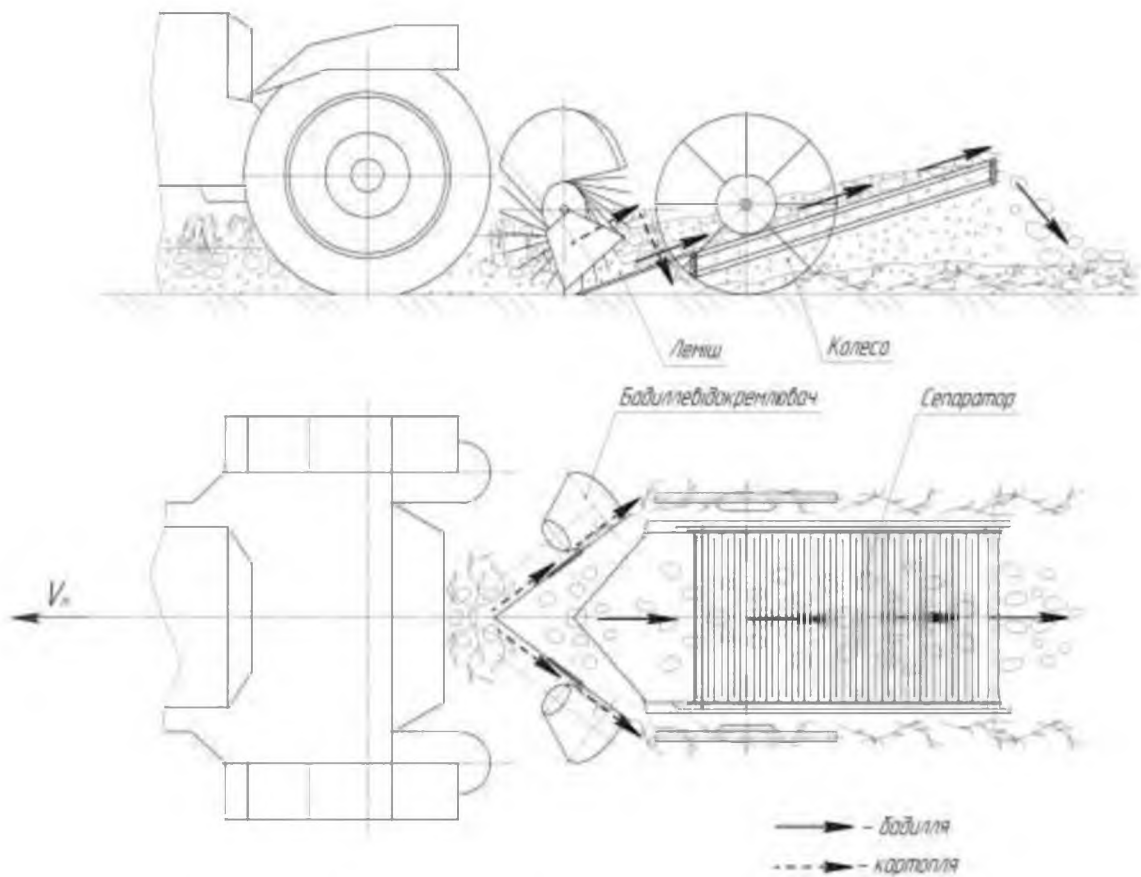


Рисунок 2.1 - Функціональна схема картоплекопача

грунту, очищений від рослинних залишків, кріпиться і спрямовується лемешем на сепаратор. Підрізання лемеша полягає в тому, що він повинен повністю, не залишаючи поза собою бульбоплоди, підрізати шар і частково зруйнувавши транспортувати ні подальші робочі органи.

Наступна технологічна операція є завершальною в даній машині і тому вона є найважливішою у технологічному процесі збирання картоплі. Шар ґрунту, частково зруйнований лемешем, спрямовується на сепаруючий робочий орган. Сама операція відокремлення бульбоплодів від ґрунту включає в себе такі дії: зворушення шару ґрунту, просіювання ґрунту та кам'яних включень за розмірами меншими 30 мм, транспортування бульб за межі сепаруючого робочого органу. Сепаруючий орган дозволяє повністю відокремити бульбоплоди від ґрунту порівняно з машинами-аналогами на малій робочій довжині, що діє змогу спростити конструкцію машини і знизити матеріаломісткість.

Очищені бульбоплодів від бадилля, ґрунту і кам'яних включень укладаються на поверхні поля в межах підкопуючого рядка.

Після механізованого підкопування і очищення бульбоплодів від ґрунту один робітник має змогу без зайвих зусиль підібрати бульбоплоди.

Розроблений картоплекопач дозволяє очистити картопляний рядок від бадилля, повністю підкопати і очистити бульби картоплі від ґрунту при складних ґрунтово-кліматичних умовах; підвищеній вологості, високій забрудненості та тяжких ґрунтах.

2.2 Продуктивність та завантаження копача картоплі і бадиллебрального апарата

Швидкість руху машини визначається з умови недопущення згрупування маси на сепаруючому органі [13]

$$V_m = V_{zp} \cdot \cos \alpha_c, \quad (2.1)$$

де V_{zp} - швидкість руху маси ґрунту на решетах, м/с

$$V_{zp} = \frac{\pi n}{30} \cdot r_A, \quad (2.2)$$

де r_A - радіус кривошипа (0,015м);

$$V_{zp} = \frac{3,14 \cdot 495}{30} \cdot 0,015 = 0,78 \text{ м/с};$$

$$V_m = 0,78 \cdot \cos 17^\circ = 0,75 \text{ м/с}.$$

Розрахункова продуктивність копача картоплі за 1 год чистої роботи

$$F_o = 0,1icV_m, \text{ га/год} \quad (2.3)$$

де i - число рядків, котрі підкопуються ($i=1$);

c - ширина міжрядь ($c = 700 \text{ мм}$).

$$F_o = 0,1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 0,19 \text{ га/год}.$$

Завантаження копача картоплі масою – масова витрата (в кг/с)

$$Q = Q_{zp} + Q_{кор.} + Q_{гич}, \quad (2.4)$$

де Q_{cp} - завантаження підкопаним ґрунтом,

$Q_{кор.}$ - завантаження коренеплодами,

$Q_{гич}$ - завантаження гичкою.

Середнє секунднє завантаження підкопаною масою без врахування в щільності коренеплодів складає

$$Q_{cp} = Q_2 + Q_{кор.} \approx SV_M \rho_2, \quad (2.5)$$

де S - площа поперечного перерізу підкопаного пласта, м² ($S = 0,1 \text{ м}^2$ при грудковому садінні);

ρ_2 - щільність ґрунту, кг/м³ ($\rho_2 = 1700 \text{ кг/м}^3$).

$$Q_{cp} = 0,1 \cdot 0,75 \cdot 1700 = 127,5 \text{ кг/с.}$$

Секунднє завантаження бадиллебрального апарата може бути визначене за формулою

$$Q_{гич} = 0,1icG_{гич}V_M, \quad (2.6)$$

де $G_{гич}$ - врожайність бадилля, т/га ($G_{гич} = 12 \text{ т/га}$).

$$Q_{гич} = 0,1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 12 \cdot 0,75 = 0,63 \text{ кг/с.}$$

Отже,

$$Q = 127,5 + 0,63 = 128,13 \text{ кг/с.}$$

2.3 Енергетичний розрахунок копача картоплі

Потужність, що використовується начіпним копачем картоплі, витрачається на переміщення N_n , подолання опору ґрунтового шару, що підрізається лемешем N_p , на привід бральних апаратів та на привід сепаратора:

$$N = N_n + N_p + N_{гич} + N_c. \quad (2.7)$$

Потужність на переміщення

$$N_n = fN_k gV_M, \quad (2.8)$$

де N_k - маса копача картоплі ($N_k = 150 \text{ кг}$);

f - коефіцієнт перекочування ($f = 0,2[11]$).

Тоді

$$N_n = 0,2 \cdot 150 \cdot 9,81 \cdot 0,75 = 220,73 \text{ Вт.}$$

При використанні пасивних лемешів зусилля на підрізання і передачу шару на сепаруючі робочі органи може бути визначено за формулою:

$$P_p = kS + mg \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi) + \varepsilon S \rho V_m^2, \quad (2.9)$$

де $k = 6500 \text{ Па}$ - питомий опір ґрунту, [11];

m - маса шару ґрунту, що знаходиться на лемеші:

$$m = \rho(S \cdot L_n) = 1700(0,1 \cdot 0,3) = 51 \text{ кг,}$$

$\alpha = 18^\circ$ - кут нахилу лемеша;

$\varphi = 26,56^\circ$ - кут тертя ґрунту по сталі [11];

$\varepsilon = 1$ - коефіцієнт, що характеризує тип лемеша.

Звідси

$$P_p = 6500 \cdot 0,1 + 51 \cdot 9,81 \cdot \text{tg}(18 + 26,56) + 1 \cdot 0,1 \cdot 1700 \cdot 0,75^2 = 993,2 \text{ Н.}$$

Потужність на підрізання і переміщення шару

$$N_p = P_p V_m = 993,2 \cdot 0,75 = 745 \text{ Вт.} \quad (2.10)$$

Зусилля на гаку

$$P_{\text{зак}} = P_n + P_p \leq 2 \text{ кН,}$$

де $P_n = N_n / V_m = 220,73 / 0,75 = 294,3 \text{ Н.}$

Тоді $P_{\text{зак}} = 294,3 + 993,2 = 1287,5 \leq 2 \text{ кН.}$

Потужність на привод брального апарата:

$$N_\sigma = A_\sigma B n j V_m, \quad (2.11)$$

де $B = 0,205 \text{ м}$ - ширина захвату 1 секції;

n - кількість секції ($n = 2$);

$j = 1100 \text{ см/м}^2$ - густина стеблестою;

$A_\sigma = 0,28 \text{ Дж}$ - робота, що використовується на брання 1 стебла; [19].

Отже, $N_\sigma = 0,28 \cdot 0,205 \cdot 2 \cdot 1100 \cdot 0,75 = 84,71 \text{ Вт.}$

Потужність на привід сепаруючого робочого органа визначається за формулою:

$$N_c = T\omega, \quad (2.12)$$

де $T = 10,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - крутний момент на валу.

$\omega = 51,81 \text{ с}^{-1}$ - кутова швидкість обертання вала.

Потужність для привода сепаратора

$$N_c = 10,2 \cdot 51,81 = 528,46 \text{ Вт}.$$

Тоді загальна потужність копача картоплі буде рівна

$$N = 220,73 + 745,0 + 84,71 + 528,46 = 1589 \text{ Вт} \approx 1,6 \text{ кВт}.$$

2.4 Розрахунок бадиллебрального апарата картоплекопачки

Призначення брального апарата - повністю вибрати всі рослинні залишки з зони підкопування грядки картоплі без пошкодження бульб і вивернення їх на поверхню поля.

Бральний апарат являє собою дві секції, котрі встановлені під деяким кутом γ_6 . Бральна секція складається з ведучого брального диска і веденого гумового конуса.

Схема брального апарата представлена на рис. 2.2.

Ведений гумовий конус встановлюється під деяким кутом α_k до горизонту, за бральним апаратом розміщений леміш. Параметрами брального апарата являються: ширина захвату - B , кут встановлення бральних секцій - γ_6 , зовнішній діаметр ведучого диска - D_3 ; міжосьова відстань між ведучим бральним диском і гумовим конусом - a , кутова швидкість обертання ведучого диска - ω_8 .

Основні геометричні розміри брального апарата залежать від ширини захвату леміша B_l , що визначається за формулою, від колії опорних коліс (приймаєм, що $B_0 = 500$ мм) та від кута встановлення бральних секцій, що знаходяться в межах від $45..90^\circ$, (приймаєм, що $\gamma_8 = 75^\circ$).

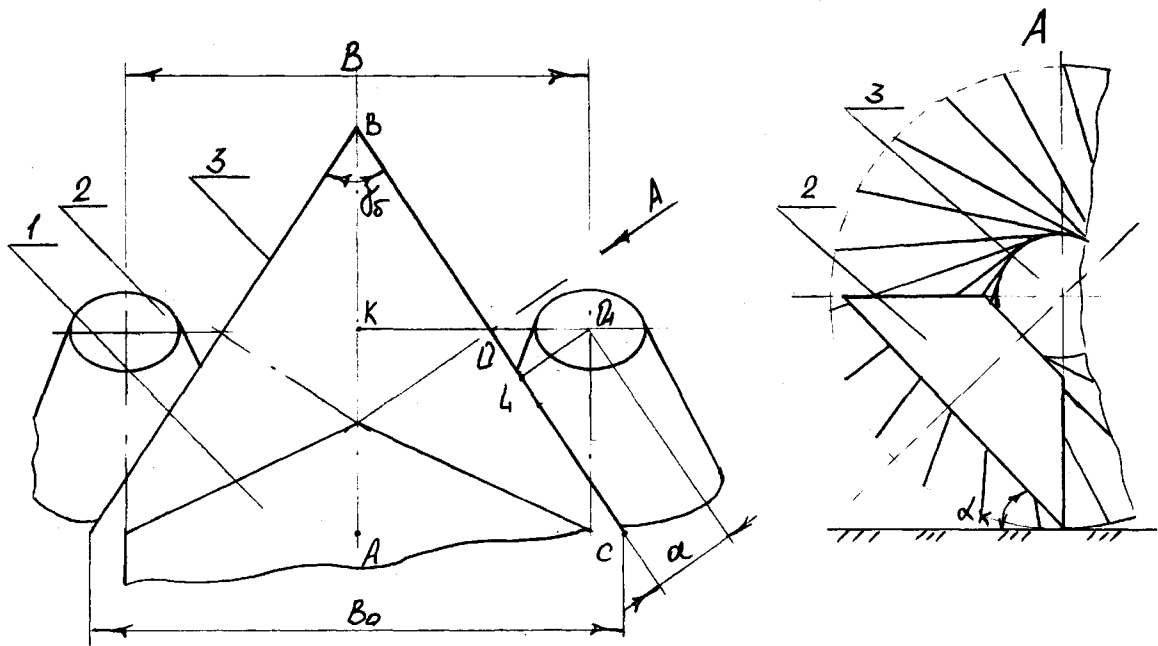


Рисунок 2.2 - Основні параметри брального апарату картоплезбиральної машини: 1-леміш; 2-гумовий конус; 3-ведучий бральний диск

Ведений гумовий конус встановлюється під деяким кутом α_k до горизонту, за бральним апаратом розміщений леміш. Параметрами брального апарата являються: ширина захвату - B , кут встановлення бральних секцій - γ_6 , зовнішній діаметр ведучого диска - D_3 ; міжосьова відстань між ведучим бральним диском і гумовим конусом - a , кутова швидкість обертання ведучого диска - ω_8 .

Основні геометричні розміри брального апарата залежать від ширини захвату леміша B_n , що визначається за формулою, від колії опорних коліс (приймаєм, що $B_0=500$ мм) та від кута встановлення бральних секцій, що знаходяться в межах від $45..90^\circ$, (приймаєм, що $\gamma_8=75^\circ$).

Отже, виходячи з того, що ширина захвату леміша $B_n=410$ мм, ширина захвату брального апарата повинна бути не менше 410 мм.

Для визначення зовнішнього діаметра брального ведучого диска, розглянемо трикутник ABC . Знаючи один катет і кут, можна визначити величину гіпотенузи через синус кута $\gamma_6/2$:

$$\sin \gamma_6 / 2 = \frac{AC}{BC}, \quad (2.13)$$

де $AC=BO/2=500/2=250$ мм.

Зовнішній діаметр браального диска, що описують пальці рівний:

$$D_3 = BC = \frac{AC}{\sin \gamma_6 / 2} = 250 / (\sin \cdot 75 \cdot / 2) = 410,67 \text{ мм}. \quad (2.14)$$

За ГОСТ 6636-88 приймаємо, що $D_3=410$ мм.

Для визначення міжосьової відстані a , знайдемо відрізок KO рис. 2.2. З трикутника ΔKBO через $\sin \gamma_6 / 2$ KO дорівнює:

$$KO = BO \cdot \sin \gamma_6 \quad (2.15)$$

де $BO = D_3 / 2 = 205$ мм,

$KO = 205 \cdot \sin \cdot 37,5 = 124,8$ мм.

Тоді $OO_1 = B/2 - KO = 410/2 - 124,8 = 80,2$ мм.

З трикутника ΔLOO_1 знайдемо $LO_1 = a$.

Кут. $\angle O_1OL = 90 - \gamma_6 / 2 = 90^\circ - 37,5^\circ = 52,5^\circ$

Через синус кута $\angle O_1OL$ міжосьова відстань буде рівна:

$a = OO_1 \cdot \sin \cdot 52,5^\circ = 80,2 \cdot \sin \cdot 52,5^\circ = 63,63$ мм

Розтягнутість бадилля збільшується із збільшенням показника швідкісного режиму:

$$\mu = \frac{v_M}{v_D}, \quad (2.16)$$

де v_M – швидкість руху машини, м/с; v_D – швидкість обертання браального диска, м/с.

Виходячи з того, що розтягнутість бадилля незначна при $\mu = 0,5 \dots 1,0$ [4] та з того, що браальний апарат повинен швидше звільнитися від бадилля, приймаєм $\mu = 0,7$. Швидкість руху машини визначається з формули (2.1), вона рівна $v_M = 0,75$ м/с. Тоді швидкість браального диска буде – $v_D = 0,75 / 0,7 = 1,07$ м/с.

Кутова швидкість обертання диска

$$\omega = \frac{v_d}{R_d} = \frac{1,07}{0,205} = 5,22 \text{ с}^{-1}. \quad (2.17)$$

Кут встановлення гумового притискного конуса коливається в межах від $0 \dots 45^\circ$.

Ведучий бральний диск складається із диска-вала на якому закріплені 24 металевих прутки під кутом 15° один до одного (рис. 2.2).

Радіус диска r_δ рис. 2.3 визначаємо при умові, що в точці К вибрана рослина рухається із коловою швидкістю рівною $\frac{1}{2}$ швидкості руху машини

$$r_\delta = \frac{v_m}{2 \cdot \omega_\delta}, \quad (2.18)$$

де $v_m = 0,75$ м/с – швидкість руху машини; ω_δ - кутова швидкість обертання

$$\text{диска } \omega_\delta = \frac{\pi \cdot n_\delta}{30} = \frac{3,14 \cdot 60}{30} = 6,28 \text{ с}^{-1}.$$

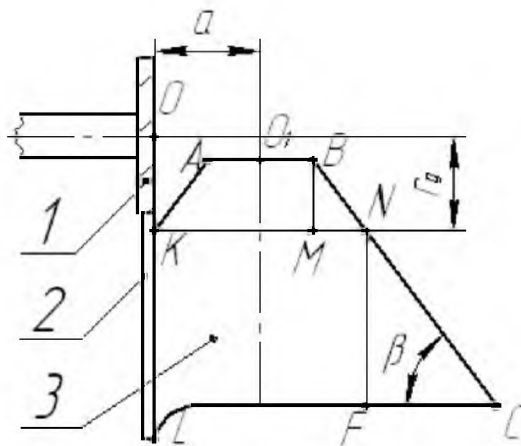


Рисунок 2.3 - Схема бральної секції: 1 – пруток;

2 – диск-вал; 3 – притискний конус

$$\text{Тоді } r_\delta = \frac{0,75}{2 \cdot 6,28} = 0,06 \text{ м} = 60 \text{ мм}.$$

Верхню основу притискного конуса приймаємо рівною міжосьовій відстані a , тобто $d_b = a = 67$ мм за ГОСТ 6636-69.

Кут нахилу брального конуса β знаходимо з $\triangle BMN$ (рис. 2.3), при умові, що верхня основа конуса знаходиться на відстані $\frac{1}{3}r_\delta$ від осі О диска-вала:

$$\beta = \arctg \frac{BM}{MN} = \arctg \frac{r_\delta - \frac{1}{3}r_\delta}{a - r_\delta} = \arctg \frac{60 - 20}{63.35 - 33.5} = 53^\circ. \quad (2.19)$$

Зона притискного конуса до ведучого диска KL рівна частині твірної NC. При відомому куті β та відомій гіпотенузі прямокутного ΔNFC можна визначити катет NF:

$$NF = NC \cdot \sin \beta = (R_3 - r_1) \cdot \sin \beta = (205 - 60) \cdot \sin 53^\circ = 115,8 \text{ мм}. \quad (2.20)$$

Тоді висота конуса $H = (r_\delta - \frac{1}{3}r_\delta) + (R_3 - r_\delta) \sin \beta = 40 + 115,8 = 155,8 \text{ мм}$.

За ГОСТ 6636-88 приймаємо, що $H=155 \text{ мм}$.

Тоді діаметр нижньої основи конуса буде рівний:

$$d_n = d_b + 2 \frac{H}{\operatorname{tg} \beta} = 67 + 2 \frac{155}{1,33} = 300 \text{ мм}. \quad (2.21)$$

2.4.2 Розрахунок небезпечних перерізів вала браального диска

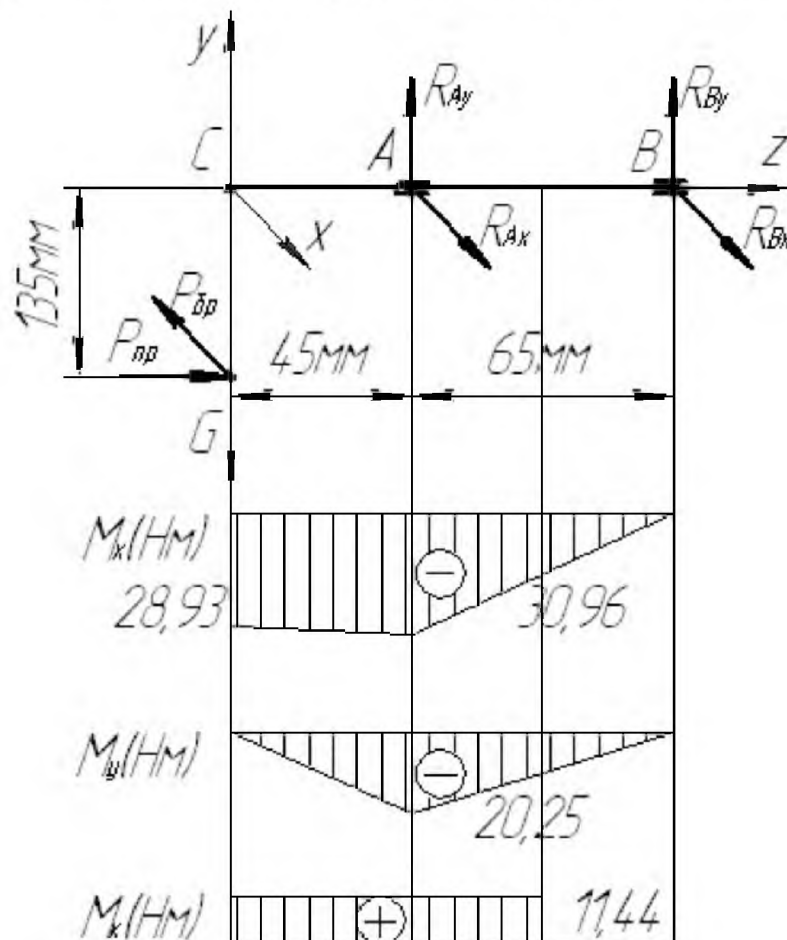


Рисунок 2.4 - Розрахункова схема вала браального диска

На вал брального ведучого диска діють такі силові фактори:

1. Сила притискання гумового конуса до диска P_{np} . Визначається як відношення сили брання $P_{\delta p}$ до коефіцієнта тертя бадилля по гумі:

$$P_{np} = \frac{P_{\delta p}}{f_{mp}},$$

де $P_{\delta p} = 150$ Н за даними досліджень [1]; $f_{mp} = 0,7$ - коефіцієнт тертя ковзання згідно [13].

$$\text{Тоді сила притискання: } P_{np} = \frac{150}{0,7} = 214,3 \text{ Н.}$$

Точка прикладання знаходиться в центрі площі контакту на відстані 70 мм від кінця прутка до центра диска.

2. Сила брання $P_{\delta p} = 150$ Н направлена в протилежну сторону напрямку обертання. Припускаємо, що сила брання прикладена в тій же точці, що й сила притискання.

3. Сила ваги диска $G = 45$ Н направлена по осі OY вниз.

4. Крутний момент на валу, що передається через шестірню насоса і шліцьове з'єднання [14] $M_{кр} = 134,68$ Нм.

Для визначення небезпечних перерізів вала необхідно знайти реакції, що виникають в підшипниках.

Для цього розглянемо вертикальну yx та горизонтальну xz площини. Складемо 2 рівняння рівноваги в кожній із площин.

Вертикальна площина:

$$\begin{aligned} 1. \quad & \sum Y = 0; \\ & R_{Ay} + R_{By} - G = 0; \\ 2. \quad & \sum M_A = 0: \\ & P_{np} \cdot 135 + G \cdot 45 + R_{By} \cdot 65 = 0. \end{aligned}$$

З другого рівняння рівноваги

$$R_{By} = \frac{-P_{np} \cdot 135 - G \cdot 45}{65} = \frac{-214,3 \cdot 135 - 45 \cdot 45}{65} = -476,24 \text{ Н.}$$

Тоді із першого рівняння рівноваги

$$R_{Ay} = G - R_{By} = 45 + 476,24 = 521,24H.$$

Будуємо епюру згинальних моментів відносно осі x в характерних точках:

$$M_{Cx} = -P_{np} \cdot 135 = -214,3 \cdot 135 = -28930,5Hмм;$$

$$M_{Ax} = -G \cdot 45 - P_{np} \cdot 135 = -45 \cdot 45 - 214,3 \cdot 135 = -30955,5Hмм;$$

$$M_{Bx} = 0;$$

$$M_{Ax} = R_{By} \cdot 65 = -476,24 \cdot 65 = -30955,5Hмм.$$

Горизонтальна площина:

$$1. \sum X = 0$$

$$-P_{\sigma p} + R_{Ax} + R_{Bx} = 0;$$

$$2. \sum M_A = 0$$

$$-P_{\sigma p} \cdot 135 + R_{Bx} \cdot 65 = 0.$$

З другого рівняння рівноваги

$$R_{Bx} = \frac{P_{\sigma p} \cdot 135}{65} = \frac{150 \cdot 135}{65} = 311,54H.$$

З першого рівняння

$$R_{Ax} = P_{\sigma p} - R_{Bx} = 150 - 311,54 = -161,54H.$$

Епюра згинальних моментів відносно осі y в характерних точках:

$$M_{Cy} = 0;$$

$$M_{Ay} = -P_{\sigma p} \cdot 135 = -150 \cdot 135 = -20250Hмм;$$

$$M_{By} = 0;$$

$$M_{Ay} = -R_{Bx} \cdot 65 = -311,54 \cdot 65 = -20250Hмм.$$

Будуємо епюру крутних моментів:

$$M_{\kappa} = M_z = -P_{\sigma p} \cdot 135 + M_{\kappa p} = -150 \cdot 135 + 134680 = 114430Hмм.$$

Отже, визначимо сумарні реакції в опорах А і В:

$$R_A = \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2} = \sqrt{161,54^2 + 521,24^2} = 545,7H;$$

$$R_B = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2} = \sqrt{311,54^2 + 476,24^2} = 569,1H.$$

Сумарний моменти в точці А:

$$M_A = \sqrt{M_{Ax}^2 + M_{Ay}^2} = \sqrt{30,96^2 + 20,25^2} = 37 \text{ Нм.}$$

Отже, діаметр вала в небезпечному перерізі А можна визначити за формулою [14]:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32M_{зв}}{\pi[\sigma]}}, \quad (2.22)$$

де $M_{зв}$ - зведений момент, котрий згідно IV теорії міцності визначається як::

$$M_{зв} = \sqrt{M_{зг}^2 + 0,75 \cdot M_k^2},$$

тут $M_{зг}$ - згинальний момент, в нашому випадку $M_{зг} = M_A = 37$ Нм;

M_k - крутний момент, $M_k = 11,44$ Нм;

$[\sigma] = 180 \text{ МПа}$ - границя міцності для сталі 45, якщо коефіцієнт запасу рівний 2 [7].

Отже, зведений момент:

$$M_{зв} = \sqrt{37^2 + 0,75 \cdot 11,44^2} = 38,3 \text{ Нм.}$$

Тоді діаметр вала в небезпечному перерізі:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 38,3}{3,14 \cdot 180 \cdot 10^6}} = 1,29 \cdot 10^{-2} \approx 13 \text{ мм, за ГОСТ 6636-88 приймаєм, що}$$

$$d = 15 \text{ мм.}$$

2.5 Гідравлічний розрахунок привода брального апарата

Визначаємо крутний момент, який необхідно прикласти до валу гідромотора приводу одного брального диска:

$$M_{кр} = \frac{9,55 \cdot N}{n}, \text{ Нм} \quad (2.23)$$

де N – потужність на валу приводу диска, $N = 146,5$ Вт;

n – частота обертання диска, $n_p = 190$ об/хв.

$$\text{Тоді } M_{кр} = \frac{9,55 \cdot 146,5}{190} = 7,366 \text{ Нм}$$

Визначимо витрату масла за один оберт валу гідромотора:

$$q = \frac{M_{кр}}{0,159 \cdot P}, \text{ см}^3/\text{об.} \quad (2.24)$$

де P – тиск робочої рідини, яка підводиться до гідромотору, МПа. Для шестеренчастих гідромоторів номінальний перепад тиску $P=14$ МПа.

$$\text{Тоді } q = \frac{7,366}{0,159 \cdot 14} = 3,31 \text{ см}^3/\text{об.}$$

Розхід рідини гідромотором визначається за формулою:

$$Q = \frac{q \cdot n}{10^3} = \frac{3,31 \cdot 1900}{10^3} = 1,74 \text{ л/хв.}$$

Для приводу брального диска вибираємо мотор-насос шестеренчастий МНШ-6-Е-3, технічна характеристика якого наступна [5]:

1. Робочий об'єм – 65,3 см³/об;
2. Номінальний перепад тиску – 14 МПа;
3. Частота обертання: мінімальна – 160 об/хв, номінальна – 1920 об/хв, максимальна – 3000 об/хв;
4. Номінальний розхід – 10 л/хв;
5. Коефіцієнт корисної дії – 0,85;
6. Номінальний крутний момент – 12,9 Н_м;
7. Номінальна потужність – 2,6 кВт;
8. Моторесурс – 3000 мото·год;
9. Маса – 2,3 кг.

Для приводу двох гідромоторів виберемо шестеренний насос НШ-10 –Е, для якого:

1. Робочий об'єм – 10,0 см³;
2. Тиск нагнітання: номінальний – 10 МПа, максимальний – 14 МПа;
3. Частота обертання валу: мінімальна – 110 об/хв, максимальна – 2200 об/хв, номінальна – 1500 об/хв;
4. Об'ємний к.к.д. гідронасоса – не менше 0,92;
5. Номінальна подача – 13,8 л/хв;

6. Номінальна потужність – 2,94 кВт;

7. Маса – 2,6 кг.

У гідроприводі дисків ставимо два запобіжні клапани ГА–33000Г, встановлений у гідросистемі самохідних сільськогосподарських машин. Тиск регулювання – 16 МПа. В гідроприводі дисків брального апарату передбачається встановлення фільтра 1.1.40-10 (ОСТ – 22 – 883 – 75) на зливній лінії, а також двох подільників потоку і двох зворотніх клапанів.

2.6 Аналіз процесу переміщення бадилля пальцем брального диска

В процесі роботи брального апарата пальці брального диска захоплюють бадилля картоплі і підводять в зону їх затиснення гумовим конусом. При подальшому прокручуванні брального диска бадилля витягується з ґрунту і виходить із зони затискання гумовим конусом. Після чого під дією відцентрової сили та сили тяжіння спадає із пальців брального диска в міжряддя на полі. Проаналізуємо більш детально цей процес.

На рис. 2.5 представлена схема для аналізу процесу сходження бадилля з пальця брального апарата. Тут палець обертається навколо осі, яка проходить через точку O_n перпендикулярно площині руху картоплезбиральної машини. Машина рухається поступально та прямолінійно зі змінною швидкістю v_n , причому напрям руху машини і напрям обертання пальця брального диска показано на рис. 2.5. Вздовж пальця підбирача проведена вісь $O_n\xi$, а сам палець обертається у вертикальній площині з кутовою швидкістю ω_n та кутовим прискоренням ε_n . Положення пальця брального диска від нижнього вертикального положення визначається кутом φ . На пальці брального диска знаходиться елемент бадилля картоплі C у вигляді групи стебел, яку будемо розглядати як матеріальну точку масою m_{cm} .

Розглянемо взаємодію елемента бадилля C з пальцем брального диска. Використаємо тут диференційне рівняння відносного руху матеріальної точки [17], яке у векторній формі в нашому випадку має такий вигляд:

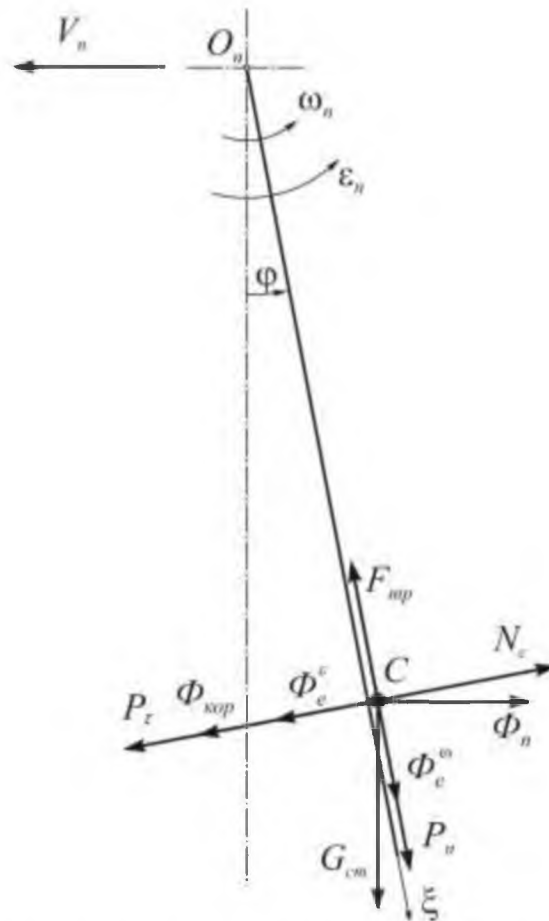


Рисунок 2.5 - Схема для аналізу процесу переміщення бадилля пальцем
брального апарата

$$m_{cm} \cdot \vec{a}_r = \vec{F} + \vec{R} + \vec{\Phi}_e + \vec{\Phi}_{кор}, \quad (2.25)$$

де \vec{a}_r – відносне прискорення елемента бадилля C ;

\vec{F} – векторна сума діючих активних сил на елемент бадилля C ;

\vec{R} – векторна сума реакцій в'язей, які накладені на елемент бадилля C зі сторони пальця;

$\vec{\Phi}_e$ – переносна сила інерції;

$\vec{\Phi}_{кор}$ – коріолісова сила інерції.

З активних сил на елемент бадилля C діють: сила ваги $G_{cm} = m_{cm} \cdot g$ (де g – прискорення вільного падіння), сила P зчеплення стебел між собою. Сила P залежить від характеристик бадилля, а також кута повороту пальця φ . Силу P представимо у вигляді двох складових P_n та P_τ (рис.). Причому складова P_n

напрявлена вздовж пальця, а складова P_τ спрямована перпендикулярно пальцю. Оскільки силу P будемо вважати силою корисного (технологічного) опору, тому напрям її складових P_n та P_τ вибрано саме з цих міркувань. Значення P_n та P_τ будемо визначати експериментально.

Зі сторони пальця брального диска на елемент бадилля C діють: нормальна реакція N_c , сила тертя ковзання $F_{mp} = f \cdot N_c$, де f – коефіцієнт тертя ковзання бадилля картоплі на поверхні пальця брального диска.

Переносну силу інерції Φ_e представимо у вигляді трьох складових Φ_n , Φ_e^ω та Φ_e^ε (рис.). Складова $\Phi_n = m_{cm} \cdot \frac{dv_n}{dt}$ виникає внаслідок змінної швидкості v_n картоплезбиральної машини з урахуванням прийнятих вище допущень. Складова $\Phi_e^\omega = m_{cm} \cdot \omega_n^2 \cdot \xi$, де ξ – координата точки C (відстань $O_n C$), а складова $\Phi_e^\varepsilon = m_{cm} \cdot \varepsilon_n \cdot \xi$. Тут кутова швидкість $\omega_n = \frac{d\varphi}{dt}$, а кутове прискорення $\varepsilon_n = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$. Кориолісова сила інерції $\Phi_{кор} = 2 \cdot m_{cm} \cdot \omega_n \cdot \frac{d\xi}{dt}$.

Рівняння (2.25) в проекції на вісь $O_n \xi$, з урахуванням вищезгаданих сил, матиме вигляд:

$$m_{cm} \cdot \frac{d^2\xi}{dt^2} = G_{cm} \cdot \cos\varphi + P_n - F_{mp} + \Phi_n \cdot \sin\varphi + \Phi_e^\omega. \quad (2.26)$$

Силу N_c визначимо з умови безвідривного руху елемента бадилля C на пальці брального диска:

$$N_c = G_{cm} \cdot \sin\varphi + P_\tau - \Phi_n \cdot \cos\varphi + \Phi_e^\varepsilon + \Phi_{кор}. \quad (2.27)$$

Після підстановки у рівняння (2.26) усіх величин і спрощення, отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\xi}{dt^2} = & -2 \cdot f \cdot \frac{d\varphi}{dt} \cdot \frac{d\xi}{dt} + \left(\left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - f \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} \right) \cdot \xi + \frac{dv_n}{dt} \cdot (\sin\varphi + f \cdot \cos\varphi) + \\ & + g \cdot (\cos\varphi - f \cdot \sin\varphi) + \frac{P_n - f \cdot P_\tau}{m_{cm}}. \end{aligned} \quad (2.28)$$

Отримане диференційне рівняння (2.28) за прийнятих вище допущень описує взаємодію пальця брального диска картоплезбиральної машини з бадиллям картоплі під час виконання процесу його переміщення і скидання. Це рівняння дає можливість проаналізувати таку взаємодію під час різних режимів роботи бадиллебрального апарата.

2.7 Висновки

1. Обґрунтовано функціональну схему нового картоплекопача.
2. Визначено продуктивність копача картоплі - 0,19 га/год та завантаження копача картоплі та бадиллебрального апарата, які склали 128,13 кг/с і 0,63 кг/с відповідно.
3. Проведено енергетичний розрахунок копача картоплі і його основних вузлів. Включаючи і бадиллебральний апарат. Загальна потужність копача картоплі буде рівна 1,6 кВт.
4. Виконано розрахунок бадиллебрального апарата картоплекопачки. В результаті якого встановлено геометричні параметри його елементів: ширина захвату – 0,5 м, кут встановлення бральних секцій - 75° , зовнішній діаметр ведучого диска - 410 мм, міжосьова відстань між ведучим бральним диском і гумовим конусом – 67 мм, висота брального конуса- 155 мм, діаметр нижньої основи – 300 мм, кут твірної конуса 53° . Обґрунтовано кінематичний режим роботи - кутова швидкість обертання ведучого диска – $5,22 \text{ с}^{-1}$. Проведено силовий розрахунок вала брального диска.
5. Зроблено гідравлічний розрахунок привода брального апарата. На основі, якого підібрано гідромотори приводу бральних дисків та інші елементи гідравлічної системи.
4. Розроблено креслення конструкції бадиллебрального апарата картоплезбиральної машини.
5. Отримане диференційне рівняння, яке описує взаємодію пальця брального диска картоплезбиральної машини з бадиллям картоплі під час виконання процесу його переміщення і скидання.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Взаємодія твердих тіл при фізичних і механічних процесах, що розвиваються в зоні тертя, можна правильно оцінити тільки з урахуванням мікрогеометрії їх поверхонь.

Найбільш повна мікрогеометрична характеристика та її параметри визначаються в результаті обробки профілограм, що представляють собою збільшений профіль поверхні.

При витягуванні з ґрунту бадилля картоплі бральним апаратом воно сприймає розтягуюче зусилля.

Конструкція бадиллебрального апарата нова і раніше не досліджувалася.

Підсумовуючи вищесказане та в зв'язку з основними завданнями, викладеними в першому розділі, на базі теоретичного аналізу роботи бадиллебрального апарата розроблена програма та методика експериментальних досліджень.

Загальною програмою експериментальних досліджень передбачається:

- визначення мікрогеометрії поверхні в прикореневій, середній і верхній частинах стебла бадилля картоплі;
- дослідження статичного розтягу бадилля картоплі;
- визначення сукупного впливу сукупного впливу кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса на максимальне зусилля брання.

Для виконання вищевказаної програми експериментальних досліджень необхідно вирішити наступні питання:

- розробити методику проведення окремих етапів досліджень;
- вибрати необхідне стандартне обладнання;
- розробити конструкцію лабораторної установки;
- організувати проведення досліджень у відповідності із методикою планування експериментів та обробкою результатів досліджень.

3.2 Опис експериментальної установки та апаратури, що використовуються при експериментальних дослідженнях

Лабораторні дослідження шорсткості поверхні стебла льону проводилися на стандартному приладі «Профілограф-профілометр» заводу «Калібр» мод. 252 (рис. 3.1), принцип роботи якого заснований на щуповому методі визначення шорсткості поверхні. По по-поверхні переміщається голка з малим радіусом заокруглення 2-10 мкм. Коливання голки в вертикальному напрямку повторюють нерівності профілю. Ці коливання голки перетворюються в електричні сигнали, посилюються і записуються у вигляді профілограми або надходять в інтегруючий пристрій, який безпосередньо видає значення Ra і інші характеристики профіля.

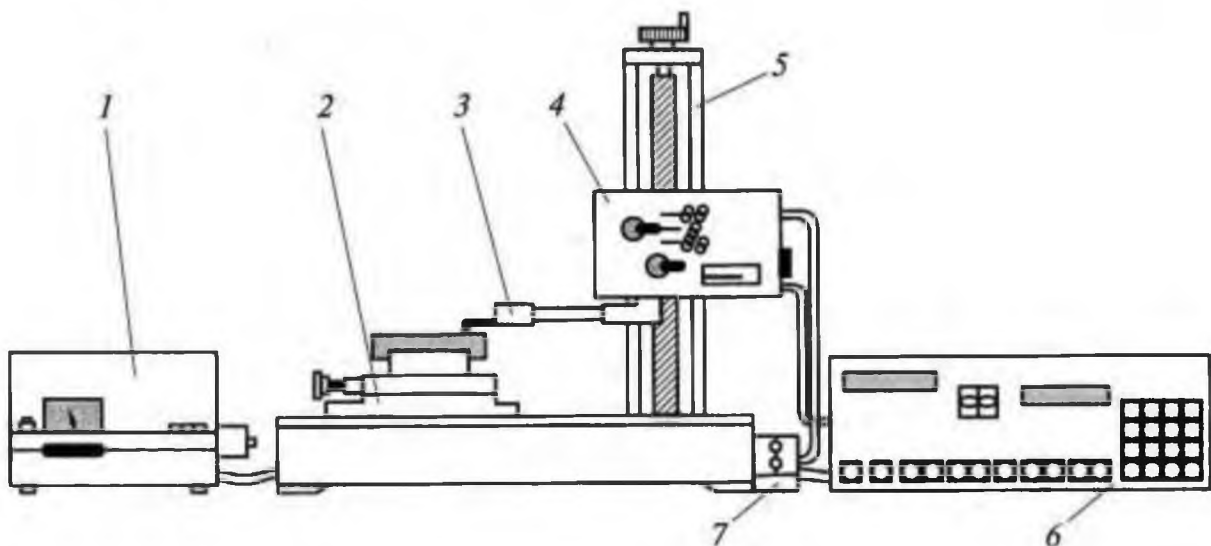
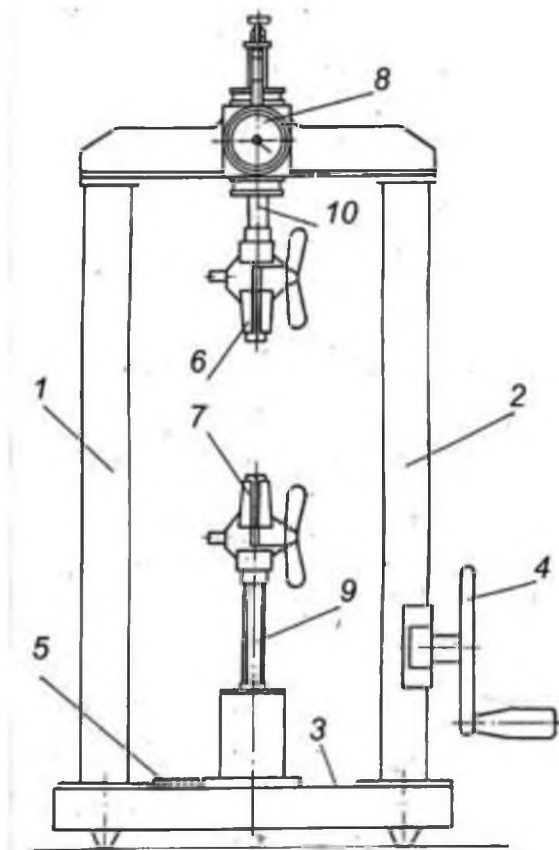


Рисунок 3.1 - Профілометр-профілограф мод. 252 заводу «Калібр»: 1 - записуючий прилад; 2 - предметний столик; 3 - датчик; 4 - мотопривод; 5 - стійка; 6 - електронний блок; 7 - блок-приставка

Дослідження закономірностей при статичному розтязі бадилля картоплі проводиться на екстензометрі (рис. 3.2).

Екстензометр складається з двох стійок 1 і 2, панелі 3, маховика 4, лічильника 5, затискачів 6 і 7, індикатора 8, рухомого штока 9, нерухомого штока 10, зубчастої передачі і плоскої силівимірювальної пружини.



а



б

Рисунок 3.2 – Схема екстензометра (а) і фото проведення експерименту (б):

1 і 2 – стійки; 3 – панель; 4 – маховик; 5 – лічильник; 6 і 7 – затискачі; 8 – індикатор; 9 – рухливий шток; 10 – нерухомий шток

Схема лабораторної установки для дослідження сукупного впливу кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса на максимальне зусилля брання дана на рис. 3.3. Ця установка являє собою одну з секцій брального апарата. Тільки бральний диск 1 має три сектори із пальцями відігнутими під кутами 30° , 45° і 60° до дотичних їх кріплення до ступиці диска.

Деформація гумового брального конуса 2 регулюється різьбовим кріпленням кронштейна на стійці станини. Затиснутий у бральному рівчаку шпагат утримується динамометром.

Для визначення характеристик бадилля картоплі використовували: для вимірювання довжини стебел – метрову лінійку з ціною поділок 1 мм; для вимірювання діаметра стебел – штангенциркуль з точністю вимірювання

0,1 мм; вологість бадилля визначали за стандартною методикою [18] використовуючи піч IP 20 та аналітичні ваги ВЛТ-1кг-1.

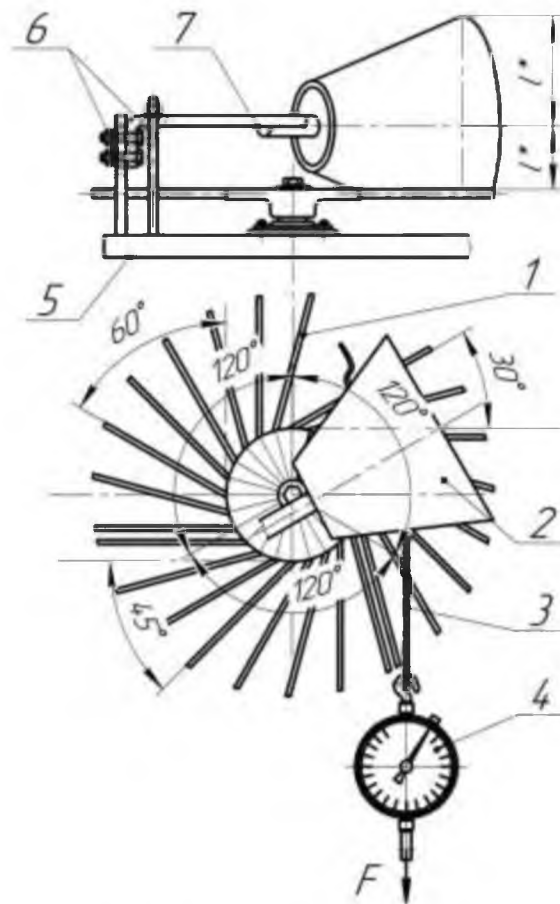


Рисунок 3.3 - Схема лабораторної установки брального апарата: 1 – бральний диск; 2 – гумовий бральний конус; 3 – стебло бадилля картоплі; 4 – динамометр; 5 – станина; 6 - різьбові кріплення; 7 - кронштейн

3.3 Методика статистичної обробки даних

При проведенні дослідів ми маємо справу з параметрами, які потрібно визначати за допомогою знаходження середнього статистичного (або арифметичного) та середнього квадратичного відхилень з числа повторень n .

Середнє арифметичне значення x_{cp} та середнє квадратичне відхилення S_C визначалися за такими формулами:

$$x_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad (3.1)$$

$$S_C = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}}, \quad (3.2)$$

де n – число вимірювань;

x_i – результат окремого вимірювання;

i – номер вимірювання.

Як відомо, неможливо провести абсолютно точно будь-яке вимірювання. Так, при вимірюванні будь-яким приладом певної величини похибку приймають рівною ціні поділки вимірювального приладу. Крім цього ми визначали абсолютні Δ та відносні δ похибки за такими формулами:

$$\Delta = a - x, \quad (3.3)$$

$$\delta = \frac{\Delta}{a}, \quad (3.4)$$

де a – дійсне значення вимірюваної величини;

x – одержане значення вимірюваної величини.

Також, для зручності, відносну похибку виражали у відсотках, тоді:

$$\delta = \frac{\Delta}{a} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

Відносною похибкою зручніше характеризувати результати вимірювань, оскільки вона дає більш безпосередню уяву про дійсну точність, ніж абсолютна похибка, яку необхідно порівняти з вимірюваною величиною.

Бралось до уваги і те, що поняття похибки напряму пов'язане з поняттям точності: чим вища похибка, тим нижча точність і, навпаки, чим вища точність, тим нижча похибка.

Застосовували ми також коефіцієнт варіації для характеристики розсіювання (мінливості) статичного розподілу. Цей коефіцієнт визначали за формулою:

$$V = \frac{S_c}{x_{cp}} \cdot 100\%. \quad (3.6)$$

Усі розрахунки проводились із застосуванням ПЕОМ, що забезпечувало їх високу точність. Для визначення деяких значень величин також використовувались спеціалізовані комп'ютерні програми, результатами яких були розрахунки проведені з високою точністю.

Дисперсія S_u^2 , що характеризує розсіювання результатів в u – му досліді визначається за формулою:

$$S_u^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \sum_{i=1}^{m_0} (y_{u_i} - \bar{y}_u)^2, \quad (3.7)$$

де m_0 – число повторюваностей;

i – номер повторюваності;

y_{u_i} – вихідний параметр при i – й повторюваності;

\bar{y}_u – середнє арифметичне значення вихідного параметра в u – му досліді.

Дисперсія відтворюваності (помилка досліді) визначається за формулою:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n S_u^2. \quad (3.8)$$

Перевірку адекватності встановленого рівняння регресії проводили спочатку на лінійній його частині за допомогою критерію Фішера F . Адекватність матиме місце, коли виконується нерівність:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F(0,05; f_{ad}; f_y), \quad (3.9)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності;

$F(0,05; f_{ad}; f_y)$ – табличне значення критерію Фішера для 5% рівня значущості [54];

$f_{ad} = n - k - 1$ – число ступенів вільності дисперсії адекватності;

$f_y = n(m_0 - 1)$ – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності.

Дисперсія адекватності S_{ad}^2 обчислюється за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n - k - 1} \sum_{u=1}^n (y - \bar{y}_u)^2, \quad (3.10)$$

де y – розрахункове значення відгуку в u – му досліді за лінійною частиною прийнятого рівняння регресії.

3.4 Методика дослідження шорсткості поверхні бадилля картоплі

Мета досліджень - визначення мікрогеометрії поверхні в прикореневій, середній і верхній частинах стебла бадилля картоплі і подальший розрахунок її параметрів.

Для проведення досліджень бадилля картоплі в період збирання витягували з ґрунту вручну на дослідному полі, після чого доставляли в лабораторію, де визначали довжину кожного стебла бадилля картоплі і діаметр d_c . Підготовка дослідних зразків здійснювалася наступним чином. Бадилля картоплі ділили на три частини - прикореневу, середню і верхівкову. Кожну з частин стебла поділяли на дві половини вздовж його осі, потім одну з половин розвертали і наклеювали на тверду основу (сталеву пластину). Середньоарифметичне відхилення профілю Ra відраховується безпосередньо за шкалою профілографа-профілометра.

Обробку отриманих профілограм проводили за відомими методиками [17]. Положення середньої лінії знаходили методом середніх [18]. Потім визначали наступні характеристики (параметри) мікрогеометрії: відстань від лінії виступів до лінії западин R_{\max} , відстань від лінії виступів до середньої лінії R_p , відносну опорну довжину по середньої лінії t_c , радіуси кривизни вершин виступів r_b , середній крок нерівностей t_n , а також комплексную характеристику $\Delta = R_{\max} / r_b^{1/\nu}$, що враховує гостроту виступів і їх розподіл по висоті. Після цього за методикою [17] будували опорну криву, яка характеризує розподіл матеріалу по висоті шорсткого шару і визначали її параметри ν і b . Крива опорної поверхні будується в відносних координатах, по осі абсцис

відкладається η_s - відносна опорна довжина профілю на даному рівні, а по осі ординат ξ - відносне зближення на даному рівні.

3.5 Методика дослідження закономірностей при статичному розтязі бадилля картоплі

Мета дослідів – дослідити закономірності при статичному розтязі бадилля картоплі.

Досліди проводили на лабораторній установці, яка описана в підрозділі 3.2 (рис. 3.2).

Для дослідження розтягу бадилля картоплі кінці зразка затискаються в затискачах 6 і 7. Навантаження рослини відбувається за рахунок передачі крутного моменту від маховика 4 через зубчасті передачі на шток 9, при цьому шток із затискачем здійснює поступальний рух униз, впливаючи на зразок. Деформація (переміщення рухомого штока з затискачем) фіксується лічильником, причому зусилля, що впливає на зразок, передається на плоску силовимірювальну пружину, деформація якої пропорційна зусиллю і фіксується індикатором годинникового типу.

Використання плоских силовимірювальних пружин з різною жорсткістю дозволяє змінювати зусилля навантаження в межах від 0 до 100 Н і від 20 до 200 Н. Похибка визначення деформацій досліджуваного зразка рослини складає 0,01мм.

3.6 Методика дослідження сукупного впливу кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса на максимальне зусилля брання

Мета дослідів – встановити сукупний вплив кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса на максимальне зусилля брання.

Досліди проводили на лабораторній установці, яка описана в підрозділі 3.2 (рис. 3.2).

Перед початком дослідів між пальці брального диска і фартух брального конуса вкладався кінець стебла бадилля картоплі. При повертанні вручну брального диска стебло заводилось у бральний рівчак, таким чином, щоб воно утримувалося пальцями брального диска відповідного сектору нахилу пальців до дотичної їх кріплення на ступиці.

До іншого кінця стебла від'єднуємо гак динамометра.

Штопоримо бральний диск до станини, щоб він не обертвся. Тягнемо за ручку динамометра до тих пір, поки почне відбуватись проковзування стебла бадилля у бральному рівчаку, і записуємо ці значення в журнал. Аналогічні дії проводимо для інших кутів нахилу бральних пальців. Змінюючи відстань кріплення кронштейна кріплення брального диска по відношенню до площини брального диска змінюємо в дослідах деформацію брального конуса. Дана деформація визначалась по різниці відстані від осі брального конуса до недеформованої частини краю конуса і відстані до найбільш zdeформованої частини.

Досліди проводили за план-матрицею двофакторного експерименту за трирівневим планом [18] у триразовій повторюваності. Використовуємо метод Бокса-Уілсона.

Межі варіювання досліджуваних факторів на трьох рівнях визначали на основі аналізу компоновального креслення вузла та попередніх теоретичних досліджень (розділ 2). Так, кута нахилу пальців брального диска $\nu_{\text{ц}}$ приймав значення 30° , 45° і 60° , а деформації брального конуса брались 50, 60 і 70 мм.

Точність показів динамометра за допомогою динамометра ДПУ-0,5-10 в дослідах становила до 0.5 Н.

Методика обробки дослідних даних та знаходження коефіцієнтів рівняння регресії описана в [18], а самі розрахунки здійснювались на ПЕОМ.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Визначення шорсткості поверхні бадилля картоплі

Характеристика досліджуваного матеріалу: сорт картоплі - «Санте», фаза стиглості бадилля – бура, вологість стебел - 43,79 %, довжина стебел бадилля загальна - 54,9 см, середній діаметр стебла бадилля – 5,4 мм.

В результаті проведених досліджень отримані профілограми поверхонь прикореневої, середньої і верхівкової частин стебла бадилля картоплі, виконані на профілографі-профілометрі заводу «Калібр» моделі 252 (рис. 4.1).

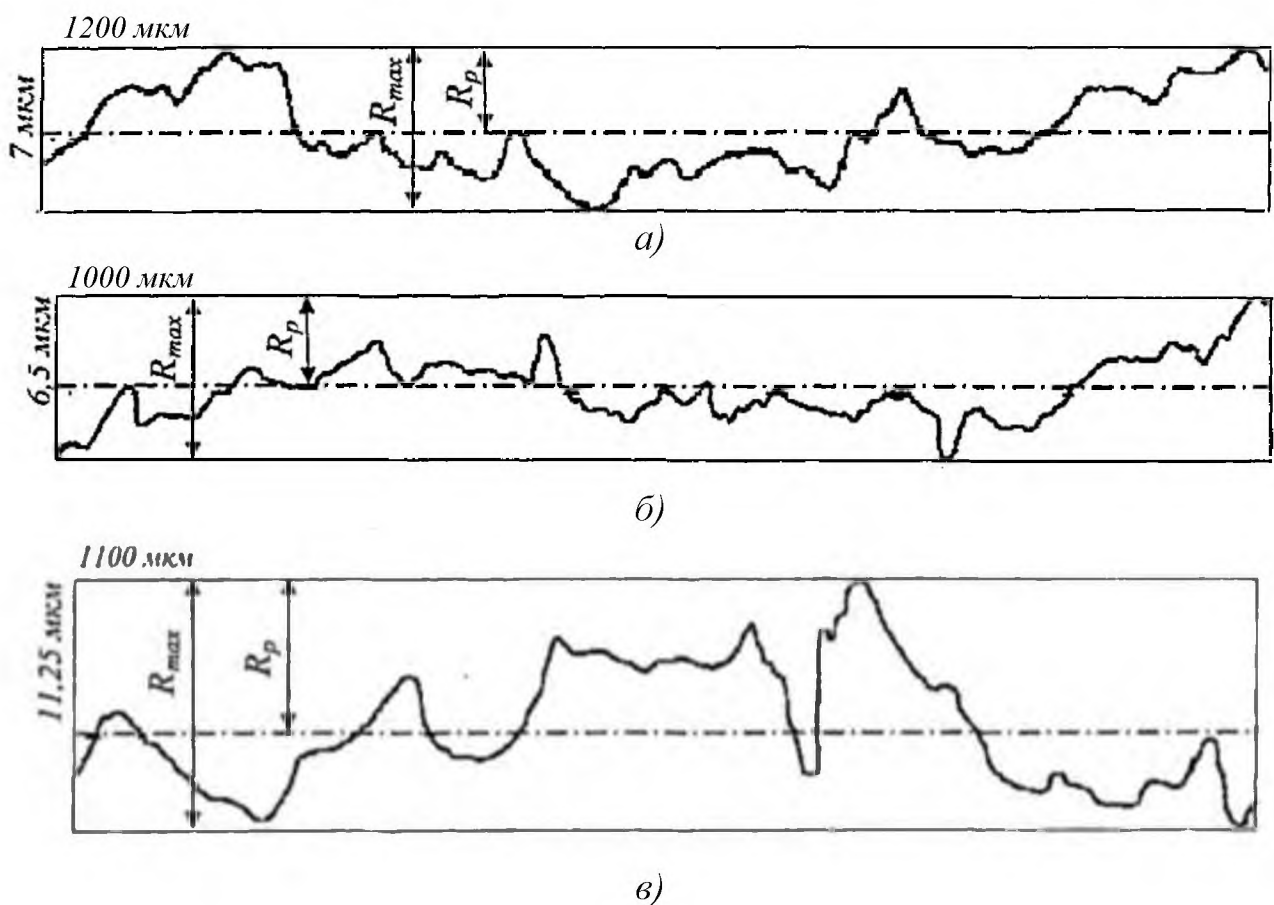


Рисунок 4.1 - Характерна профілограма поверхні прикореневої (а), середньої (б) і верхівкової (в) частин стебла бадилля картоплі

Після обробки профілограм визначені параметри мікрогеометрії поверхонь стебла бадилля картоплі. Отримані значення зазначених характеристик приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Характеристики мікрогеометрії поверхні стебла бадилля картоплі

Параметри мікрогеометрії	Частина стебла		
	прикоренева	середня	верхня
R_a , мкм	1,02	0,96	0,96
R_{max} , мкм	7	6,5	11,25
R_p , мкм	3,75	3,75	6,5
r_b , мкм	288	221	87
r_c , мкм	0,44	0,47	0,47
t_n , мкм	62,7	40	44,3
v	2,2	2,6	2,9
b	1,8	1,8	2,4
Δ	0,019	0,024	0,095

В результаті проведених досліджень отримані профілограми і визначені значення характеристик мікрогеометрії в прикореневій, середній і верхній частинах стебла бадилля картоплі. На рис. 4.2 представлена загальна картина розподілу характеристик мікрогеометрії по довжині стебла.

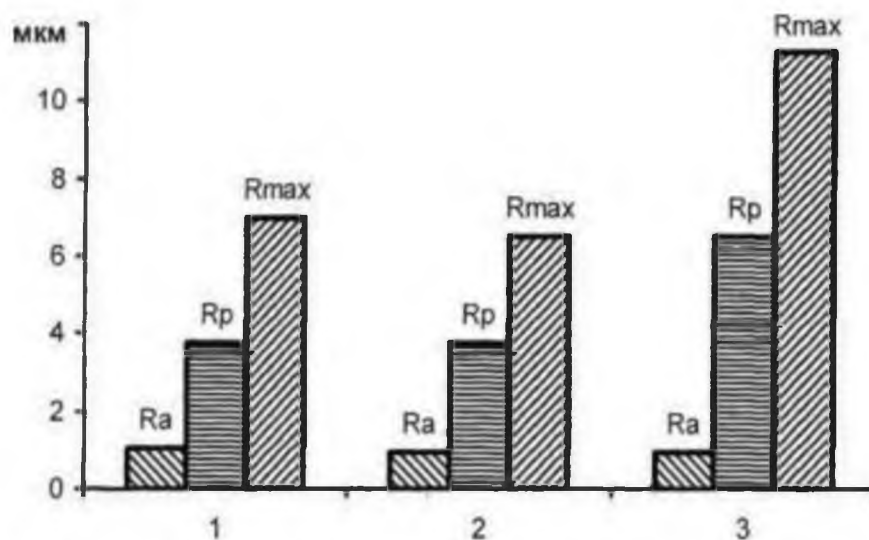


Рисунок 4.2 - Діаграма зміни параметрів шорсткості (характеристик мікрогеометрії) по довжині стебла бадилля картоплі: 1 - прикоренева частина, 2 - середня, 3 - верхівкова

Аналізуючи діаграму на рис. 4.2 можна зробити висновок, що найбільші значення параметрів шорсткості спостерігаються у верхівковій частині стебла бадилля картоплі, а в прикореневій і середній частині вони приблизно однакові. Таким чином, спостерігається нерівномірність розподілу шорсткого шару по довжині стебла бадилля картоплі.

4.2 Дослідження закономірностей при статичному розтязі бадилля картоплі

Дослідження статичного розтягу бадилля картоплі здійснювалось експериментально в лабораторних умовах за методикою підрозділу 3.5 на екстензометрі (рис. 3.5).

Схема навантаження бадилля картоплі при його розтягненні представлена на рис. 4.3, *а*. Слід зазначити, що затиснення кінців бадилля картоплі для його розтягу повинно бути виконане в приладі так, щоб, з одного боку, воно було надійним, а з іншого, щоб не пошкодити кінці.

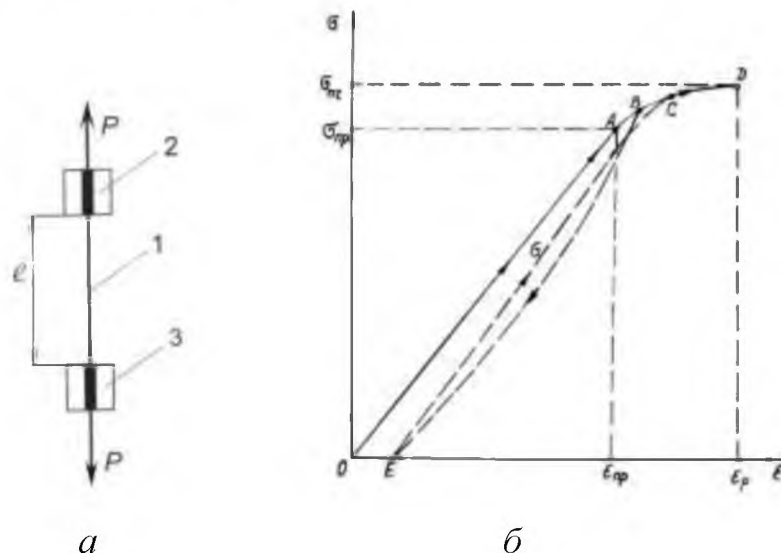


Рисунок 4.3 - Схема навантаження (*а*) і діаграма розтягу бадилля картоплі (*б*):

1 – стебло; 2 і 3 – затискачі

При проведенні досліджень визначається сила розтягу P і відповідне їй видовження бадилля картоплі Δl . За цими даними, а також, знаючи діаметр

бадилля картоплі d і його початкову довжину l (точніше, початкову відстань між затискачами), можна розраховувати відносне видовження бадилля картоплі ε і умовне напруження σ за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\Delta l}{l}; \\ \sigma &= \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d^2}. \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

Напруження σ називається умовним тому, що бадилля картоплі має не ідеально круглу будову і дійсна площа поперечного перерізу менша $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$. При конусній формі бадилля картоплі параметр d буде являти собою діаметр найменшого січення в зоні розтягу. Відносне видовження ε може бути виражене не тільки у відносних величинах, але й у відсотках, тоді $\frac{\Delta l}{l}$ домножується на 100.

У результаті дослідження була встановлена залежність напруження від відносної деформації, представлена на рис. 4.3, б. Діаграма в загальному випадку складається з прямолінійної ділянки OA , на якій напруження пропорційне видовженню (прямолінійна залежність), і ділянки $ABCD$, на якій деформація росте швидше, ніж напруження. Якщо на цій ділянці в довільно взятій точці B розвантажити стебло, то крива розвантаження буде мати вигляд BE , а повторне навантаження піде по кривій EGC . В точці D стебло розривається. Ділянка OA може на початку містити криволінійну частину, якщо натягується скривлене стебло.

Відзначене на діаграмі напруження σ_{np} являє собою межу пропорційності, а величина ε_{np} – відповідне йому відносне видовження. Величини σ_{nc} і ε_p – це напруження і видовження, при яких відбувається розрив стебла. Найбільше напруження σ_{nc} називається межею міцності (або тимчасовим опором). Оскільки стебло має конічну форму, то при його розтязі розрив відбувається в зоні найменшого діаметра, тобто там, де найбільш слабке січення. На прямолінійній ділянці OA діаграми залежність σ від ε підпорядковується закону Гука:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (4.2)$$

де E – модуль деформації.

Обробкою результатів дослідів установлені значення E і $\sigma_{нч}$, для бадилля картоплі $\sigma_{нч} = 100...200$ кПа і розривне зусилля однієї стеблини 0,20...0,49 кН. Модуль деформації тим більший, чим більший вік рослини і її стиглість. Відносні видовження стебел при розриві ε_p незначні (0,01...0,05); $\sigma_{нр} = (0,8...1,0) \cdot \sigma_{нч}$; $\varepsilon_{нр} = (0,7...1,0) \cdot \varepsilon_p$.

4.3 Дослідження сукупного впливу кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса на максимальне зусилля брання

Дослідження сукупного впливу деформації брального конуса і кута нахилу пальців брального диска на максимальне зусилля брання здійснювалось експериментально в лабораторних умовах за методикою підрозділу 3.6.

В зв'язку з неможливістю проведення експериментів через відсутність експериментальної установки досліди проводилися умовно, тобто необхідні дані експериментів бралися з прийнятої гіпотези, розробленої на основі аналізу апріорної інформації.

Нами проведено двофакторний експеримент. У відповідності з літературними даними [18] використаємо метод Бокса-Уілсона.

За вихідне рівняння регресії приймаємо неповне квадратне рівняння типу:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (4.3)$$

де y – максимальне зусилля брання;

x_1, x_2 – кодовані значення двох факторів, а саме, відповідно, кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса ;

b_0, b_1, b_2, b_{12} – коефіцієнти при відповідних значеннях x .

Проведемо кодування факторів для переведення натуральних значень в безрозмірні величини. Зв'язок між кодованими x_i і натуральними X_i значеннями факторів буде:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{X_1 - X_{10}}{\Delta X_1}; \\ x_2 &= \frac{X_2 - X_{20}}{\Delta X_2}; \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

де X_1, X_2 – відповідно натуральні значення відповідно, кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса; X_{10}, X_{20} – натуральні значення вищезгаданих факторів на нульовому рівні; $\Delta X_1, \Delta X_2$ – інтервал варіювання вказаних факторів.

Нульовий рівень – це середнє значення фактора (основний рівень, що займає центр інтервалу). У нашому випадку кут нахилу пальців брального диска X_1 змінюється від 30° до 60° , деформація брального конуса X_2 змінюється від 50 мм до 70 мм. Тоді $X_{10} = 45^\circ$, $X_{20} = 60$ мм, а $\Delta X_1 = 15^\circ$, $\Delta X_2 = 10$ мм. Результати кодування факторів представлені таблицею 4.2.

Таблиця 4.2 - Результати кодування факторів

Фактор і одиниця вимірювання	Натуральне позначення	Кодоване позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				натуральні			кодовані		
				верхній	нижній	нульовий	верхній	нижній	нульовий
Кут нахилу пальців брального диска, $^\circ$	X_1 або α	x_1	15	60	30	45	+1	-1	0
Деформація брального конуса, мм	X_2 або Δ	x_2	10	70	50	60	+1	-1	0

Після закінчення кодування факторів складаємо план-матрицю експерименту для чотирьох дослідів ($n=2^2=4$). При цьому дослід №1 являє собою сукупність x_1 і x_2 на нижньому рівні; дослід №2 сукупність x_1 на

верхньому рівні, а x_2 – на нижньому рівні; дослід №3 сукупність x_1 на нижньому рівні, а x_2 – на верхньому рівні; дослід №4 – x_1 і x_2 на верхньому рівні. План-матриця подана у лівій частині табл. 4.3 називається планом першого порядку і дозволяє проводити незалежну оцінку коефіцієнтів регресії.

Після цього проводилась рандомізація дослідів з метою встановлення послідовності їх проведення.

Під час проведення дослідів (при реалізації плану-матриці експерименту) ми одержали дані, подані в табл. 4.3, де u – номер дослідів, u_1 – номер дослідів в першій повторюваності (в першій реалізації плану), u_2 – номер дослідів в другій повторюваності (другій реалізації плану) тощо.

Значення y_{u_1} , y_{u_2} і y_{u_3} в таблиці 4.3 отримані в результаті дослідів, а значення \bar{y}_u – при розрахунках за формулою $\bar{y}_u = \frac{1}{3}(y_{u_1} + y_{u_2} + y_{u_3})$. Необхідно перевірити їх відтворюваність.

Таблиця 4.3 - Умови проведення і результати дослідів

Точка плану (номер дослідів) u	Значення кодіваних факторів			Вихідний параметр y , Н			Середнє арифметичне значення вихідного параметра \bar{y}_u , Н
				Повторюваність			
	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	y_{u_1}	y_{u_2}	y_{u_3}	
1	-1	-1	+1	35	32	35	34
2	+1	-1	-1	50	52	48	50
3	-1	+1	-1	75	74	76	75
4	+1	+1	+1	91	92	96	93

Перевірка відтворюваності дослідів при однаковому числі повторюваностей для кожного дослідів (для кожної точки плану) проводилась за критерієм Кохрена, табличне значення якого [18] позначається $G(0,05; n; f_u)$, де 0,05 означає 5%-й рівень значущості (дорівнює $1-\alpha$, де α – довірча ймовірність; n – число незалежних оцінок дисперсії (число дослідів); $f_u = m_0 - 1$ – число ступенів вільності кожної оцінки, тут m_0 – число повторюваностей. Перевірка відтворюваності проводилась за умови:

$$G \leq G(0,05;n; f_u), \quad (4.5)$$

де $G = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^n S_u^2}$ – розрахункове значення критерію Кохрена;

$S_{u \max}^2$ – найбільша із дисперсій, що характеризують розсіювання результатів в u – му досліді (тобто на u – му поєднанні рівнів факторів);

$\sum_{u=1}^n S_u^2$ – сума дисперсій.

Дисперсія S_u^2 , що характеризує розсіювання результатів в u – му досліді визначається за формулою:

$$S_u^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \sum_{i=1}^{m_0} (y_{u_i} - \bar{y}_u)^2, \quad (4.6)$$

де i – номер повторюваності;

y_{u_i} – вихідний параметр при i – й повторюваності.

Дисперсія відтворюваності (помилка досліді) визначається за формулою:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n S_u^2. \quad (4.7)$$

У нашому випадку $m_0 = 3$, $n = 4$. Для першого досліді за формулою (4.6), отримаємо:

$$S_1^2 = \frac{1}{3-1} \cdot [(35-34)^2 + (32-34)^2 + (35-34)^2] = 3 \text{ Н}^2.$$

$$\text{Для другого досліді: } S_2^2 = \frac{1}{3-1} \cdot [(50-50)^2 + (52-50)^2 + (48-50)^2] = 4 \text{ Н}^2.$$

$$\text{Для третього досліді: } S_3^2 = \frac{1}{3-1} \cdot [(75-75)^2 + (74-75)^2 + (76-75)^2] = 1 \text{ Н}^2.$$

$$\text{Для четвертого досліді: } S_4^2 = \frac{1}{3-1} \cdot [(91-93)^2 + (92-93)^2 + (96-93)^2] = 7 \text{ Н}^2;$$

$$S_y^2 = \frac{1}{4} \cdot (3+4+1+7) = 3,75 \text{ Н}^2.$$

Після підстановки значень $S_{u_1}^2$, $S_{u_2}^2$, $S_{u_3}^2$, і $S_{u_4}^2$ в (4.3), отримаємо:

$$G = \frac{7}{3+4+1+7} = 0,467.$$

Табличне значення критерію Кохрена за [18] для 5% рівня значущості та $n = 4$ і $f_u = 2$ буде 0,770. Число 0,770 більше за 0,467, тому робимо висновок, що процес відтворюється.

Оскільки розглядуваний процес відтворюваний, то вираховуємо коефіцієнти рівняння регресії. Вище вказувалось, що відносну розтягнутість стеблової стрічки льону будемо визначати у формі неповного квадратного рівняння, тому за даними табл. 4.3 необхідно визначити коефіцієнти b_0, b_1, b_2, b_{12} за такими залежностями:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n \bar{y}_u; \\ b_1 &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{1u} \bar{y}_u; \\ b_2 &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{2u} \bar{y}_u; \\ b_{12} &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{1u} x_{2u} \bar{y}_u, \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

де $n = 4$ – число точок плану (число дослідів);

\bar{y}_u – середнє арифметичне значення вихідного параметра в u – му досліді;

x_{1u}, x_{2u} – значення відповідного кодованого фактора в рядку плану-матриці в u – му досліді.

Отже, в нашому випадку отримаємо:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{34 + 50 + 75 + 93}{4} = 63,0; \\ b_1 &= \frac{(-1) \cdot 34 + (+1) \cdot 50 + (-1) \cdot 75 + (+1) \cdot 93}{4} = 8,5; \\ b_2 &= \frac{(-1) \cdot 34 + (-1) \cdot 50 + (+1) \cdot 75 + (+1) \cdot 93}{4} = 21,0; \\ b_{12} &= \frac{(+1) \cdot 34 + (-1) \cdot 50 + (-1) \cdot 75 + (+1) \cdot 93}{4} = 0,5. \end{aligned}$$

Отже, рівняння регресії (4.1) матиме вигляд:

$$y = 63,0 + 8,5 \cdot x_1 + 21,0 \cdot x_2 + 0,5 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (4.9)$$

Перевірку адекватності рівняння проводимо спочатку на лінійній частині $y = 63,0 + 8,5 \cdot x_1 + 21,0 \cdot x_2$ за допомогою критерію Фішера F . Адекватність матиме місце, коли виконується нерівність:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F(0,05; f_{ad}; f_y), \quad (4.10)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності;

S_y^2 – дисперсія відтворюваності (помилка досліду);

$F(0,05; f_{ad}; f_y)$ – табличне значення критерію Фішера для 5% рівня значущості [18];

$f_{ad} = n - k - 1 = 4 - 2 - 1 = 1$ – число ступенів вільності дисперсії адекватності;

$f_y = n(m_0 - 1) = 4(3 - 1) = 8$ – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності.

Дисперсія адекватності S_{ad}^2 обчислюється за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n - k - 1} \sum_{u=1}^n (y - \bar{y}_u)^2, \quad (4.11)$$

де y – розрахункове значення відгуку в u -му досліді лінійної частини формули (4.9).

Для досліду №1 відгук $Y_1=33,5$ Н, для решти дослідів $Y_2=50,5$ Н; $Y_3=75,5$ Н; $Y_4=92,5$ Н. Відповідне значення $(y - \bar{y}_u)$ для першого досліду дорівнює $(33,5-34,0)^2=0,25$ Н²; для другого $(50,5-50,0)^2=0,25$ кН²; для третього $(75,5-75,0)^2=0,25$ Н²; для четвертого $(92,5-93,0)^2=0,25$ Н².

Згідно (4.11), отримаємо:

$$S_{ad}^2 = \frac{0,25 + 0,25 + 0,25 + 0,25}{4 - 2 - 1} = 1,0,$$

Отже, розрахункове значення F критерію Фішера дорівнює:

$$F = 1 / 3,75 = 0,27.$$

Табличне значення $F(0,05;1;8) = 5,318$, а це значно більше за 0,27. Тому приходимо до висновку, що лінійна модель адекватна.

Після перевірки адекватності рівняння проводимо оцінку значущості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Стьюдента. Коефіцієнт вважається значущим (таким, що суттєво впливає на відгук), якщо виконується нерівність:

$$|b_a| \geq \Delta b_a = t(0,05; f_y) \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{n}}, \quad (4.12)$$

де b_a – коефіцієнти b_0, b_1, b_2, b_{12} у формулі (4.6);

Δb_a – довірна границя;

$t(0,05; f_y)$ – критерій Стюдента для 5% рівня значущості та числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_y = n(m_0 - 1)$.

Рівень значущості дорівнює $1-\alpha$, де α – довірна ймовірність. З урахуванням цього критерій Стюдента можна визначити за таблицею [24], де приводяться його значення залежно від α . Оскільки при 5%-му рівні значущості

$$\alpha = 0,95, \text{ а } f_y = 8, \text{ то при таких } \alpha \text{ і } f \text{ в таблиці } t = 2,3; \text{ тоді } \Delta b_a = 2,3 \frac{\sqrt{3,75}}{\sqrt{4}} = 2,24.$$

Згідно умови (4.10) робимо висновок, що коефіцієнти b_0, b_1, b_2 значущі, а коефіцієнт b_{12} перед взаємодією факторів – незначущий.

На основі викладеного приходимо до висновку, що рівняння (4.7) добре описує явище, яке вивчається, при цьому останнім членом $0,5x_1x_2$ можна знехтувати.

Аналізуючи отримане рівняння регресії (4.7) видно, що значення y зменшується при збільшенні x_1 та зменшенні x_2 . При цьому вплив фактора x_2 менший, ніж x_1 .

Графічно рівняння регресії є поверхнею відгуку *ABCD* (рис.4.3).

Перейдемо до рівняння регресії у натуральному вигляді за формулами.

Перехід від рівняння у якому x_1 і x_2 – фактори в кодованому вигляді, до рівняння з факторами α та Δ в натуральному здійснюємо за виразами (4.2):

$$x_1 = \frac{\alpha - 45}{15}; \quad x_2 = \frac{\Delta - 60}{10}.$$

$$\text{Тоді } F = 63,0 + 8,5 \frac{\alpha - 45}{15} + 21,0 \frac{\Delta - 60}{10}.$$

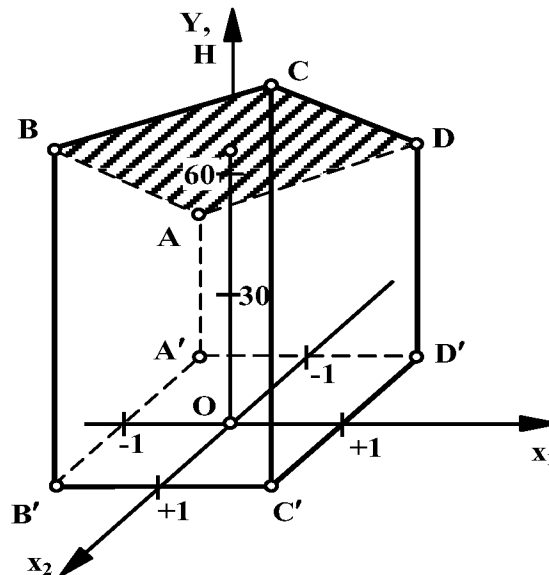


Рисунок 4.3 - Поверхня відгуку для максимального зусилля Y брання стебла бадилля від кута нахилу x_1 пальців брального диска і деформації x_2 брального конуса

Остаточо отримаємо

$$F = -88,50 + 0,57 \cdot \alpha + 2,10 \cdot \Delta. \quad (4.13)$$

Такий остаточний вигляд має залежність максимального зусилля брання F від кута нахилу пальців брального диска α і деформації брального конуса Δ .

4.4 Висновки

1. Досліджено шорсткість поверхні стебла бадилля картоплі. Отримано профілограми і визначені значення характеристик мікрогеометрії в прикореневій, середній і верхівковій частинах стебла. Встановлено, що найбільша шорсткість поверхні спостерігається в верхівковій частині.

2. Дослідження статичного розтягу бадилля картоплі показали, що для бадилля картоплі $\sigma_{нч} = 100 \dots 200 \text{ кПа}$ і розривне зусилля однієї стеблини $0,20 \dots 0,49 \text{ кН}$.

3. У результаті двофакторного експерименту отримано регресійну залежність (4.13) максимального зусилля брання стебла бадилля від кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса брального апарата.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У зв'язку з потребами фермерства та дрібних господарств у малопотужній і продуктивній техніці, запропонована конструкція малогабаритного копача картоплі, обладнаного пальцево-клавішним сепаратором нової конструкції. Також запропоновано обладнати картоплекопачку бадиллебральним апаратом і тим самим виключити з технологічного процесу збирання операцію скошування бадилля.

За результатами проведених досліджень отримані наступні висновки:

1. Описано фізико-механічні властивості бадилля картоплі та їх вплив на технологічний процес збирання картоплі. Проведено аналіз сучасних технологій вирощування та збирання картоплі. Проаналізувано конструкції бадиллевидаляючих робочих органів картоплезбиральних машин.

2. Обгрунтовано функціональну схему нового картоплекопача.

3. Визначено продуктивність копача картоплі - 0,19 га/год та завантаження копача картоплі та бадиллебрального апарата, які склали 128,13 кг/с і 0,63 кг/с відповідно.

4. Проведено енергетичний розрахунок копача картоплі і його основних вузлів. Включаючи і бадиллебральний апарат. Загальна потужність копача картоплі буде рівна 1,6 кВт.

5. Виконано розрахунок бадиллебрального апарата картоплекопачки. В результаті якого встановлено геометричні параметри його елементів: ширина захвату – 0,5 м, кут встановлення бральних секцій - 75° , зовнішній діаметр ведучого диска - 410 мм, міжосьова відстань між ведучим бральним диском і гумовим конусом – 67 мм, висота брального конуса- 155 мм, діаметр нижньої основи – 300 мм, кут твірної конуса 53° . Обгрунтовано кінематичний режим роботи - кутова швидкість обертання ведучого диска – $5,22 \text{ с}^{-1}$. Проведено силовий розрахунок вала брального диска.

6. Зроблено гідравлічний розрахунок привода брального апарата. На основі, якого підібрано гідромотори приводу бральних дисків та інші елементи гідравлічної системи.

7. Розроблено креслення конструкції бадиллебрального апарата картоплезбиральної машини.

8. Отримане диференційне рівняння, яке описує взаємодію пальця брального диска картоплезбиральної машини з бадиллям картоплі під час виконання процесу його переміщення і скидання.

9. Досліджено шорсткість поверхні стебла бадилля картоплі. Отримано профілограми і визначені значення характеристик мікрогеометрії в прикореневій, середній і верхівковій частинах стебла. Встановлено, що найбільша шорсткість поверхні спостерігається в верхівковій частині.

10. Дослідження статичного розтягу бадилля картоплі показали, що для бадилля картоплі $\sigma_{ти} = 100...200 \text{ кПа}$ і розривне зусилля однієї стеблини 0,20...0,49 кН.

11. У результаті двофакторного експерименту отримано регресійну залежність максимального зусилля брання стебла бадилля від кута нахилу пальців брального диска і деформації брального конуса брального апарата.

12. Розроблений картоплекопач пропонується для застосування на присадибних та дрібно фермерських угіддях. Призначений для попереднього очищення рядка, що підкопується, від бадилля, укладання його у міжряддя; підкопування одного рядка картоплі, відділення бульбоплодів від ґрунту та укладання їх на поверхні поля. Машина розрахована на збирання картоплі посаженої з міжряддям шириною 65-75 см.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гапоненко В.С, Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини та їх використання. 4 – те вид., доп. і перероб. – К.: Урожай, 1982 – 312с.: іл
2. Довідник сільського інженера / В.Д.Гречкосій, О.М.Погорілець, І.І.Ревенко та ін.; За ред.В.Д.Гречкосія. – К.: Урожай,1988.
3. Дорошенко А.П. Аналіз конструкцій бадиллевидаляючих робочих органів картоплезбиральних машин // Тези III студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, Луцький НТУ. – 2023 р.– С. 57-59.
4. Інтенсивна технологія вирощування картоплі / В.Д.Волков, Г.М.Колонтай, М.П.Мукосій, П.К.Сердюк. - К. : Урожай, 1989. – 40 с.
5. Кальбус Г.Л.Гидропривод и навесные устройства тракторов в вопросах и ответах – 3 – е изд., переработ. и доп. – К.: Урожай, 1990. – 216 с.,ил.
6. Кваліфікаційна робота магістра [Текст] : методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого (магістерського) рівня освітньо-професійної програми «Агроінженерія» галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство спеціальності 208 Агроінженерія денної та заочної форм навчання / уклад. В.В. Сацюк, Р.В. Кірчук, Л.Ю. Забродоцька. – Луцьк : Луцький НТУ, 2020. – 60 с.
7. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Ковальчук, Ю.Г. Фесіна, І.Л.Заблоцька Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.
8. Машиновикористання в землеробстві / В.Ю.Ільченко, Ю.П.Нагірний, П.А.Джолос та ін.; За ред. В.Ю.Ільченка. - К.: Урожай, 1996. - 384 с.
9. Настенко П.М., Романченко М.А. Індустріальна технологія виробництва картоплі.- 3-є вид., доп і перероб. - К.: Урожай, 1986. - 144 с., іл.
- 10.Описание изобретения к авторскому свидетельству №3530433, кл.30-15, 1982.

11.Пасаман Б.Ф. Обґрунтування параметрів лемішно-роторного картоплекопача; автореф. дис. на здоб. учен. ступ. кан. техн. наук: спец. 05.05.11 Машини і засоби сільськогосподарського виробництва / Б.Ф. Пасаман. Тернопіль, 2006. 15с.

12.Перспективи розвитку галузі картоплярства в Україні // Режим доступу –<http://potatoclub.com.ua>.

13.Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. – 2-е изд., перераб и доп.. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.

14.Писаренко Г.С. та ін. Опір матеріалів: Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; За ред.Г.С. Писаренка. – К.: Вища школа., 1993 – 655с.:іл.

15.Семірненко Ю.І., Семірненко С.Л. Удосконалення технологічного процесу видалення бадилля картоплі при мотоблочній технології виробництва / Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів», випуск 1 (47), 2022. С. 36-42

16.Смолінський С.В. Аналіз основних показників технічної характеристики сучасних картоплезбиральних машин. Науковий вісник НУБіП України. Серія : Техніка та енергетика АПК : зб.наук.праць Київ: НУБіП, 2018 № 282 (2018). С. 200- 207.

17.Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навч. Посібник. – Київ: вид-во УСГА, 1992. – 240 с.

18..Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч.посібник. – К.: НМКВО. 1992 – 320 с.

19.Хайліс Г.А. Механіка рослинних матеріалів / Г.А. Хайліс, Ю.В. Федорусь. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2004. – 302 с

20.Nevko R.B., Tkachenko R.I., Synii S.V., Flonts I.V. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters. INMATEH: Agricultural engineering. Bucharest, Romania. 2016. Vol. 49. № 2. pg. 53-60.

ДОДАТКИ

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	К-ть	Примітка
				<u>Документація</u>		
			КАІ.ККН.00.00.0000 ПЗ	Пояснювальна записка	1	
41			КАІ.ККН.00.00.0000 03	Принципова схема	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	КАІ.ККН.01.00.0000СК	Начінний механізм	1	
		2	КАІ.ККН.02.00.0000 СК	Верхня тяга	1	
		3	КАІ.ККН.03.00.0000 СК	Корданний вал	1	
		4	КАІ.ККН.04.00.0000 СК	Захисний кожух	2	
		5	КАІ.ККН.05.00.0000 СК	Бральний диск	2	
		6	КАІ.ККН.06.00.0000 СК	Бральний конус	2	
		7	КАІ.ККН.07.00.0000 СК	Леміш	1	
		8	КАІ.ККН.08.00.0000 СК	Редуктор	1	
41		9	КАІ.ККН.09.00.0000 СК	Сепаратор	1	
		10	КАІ.ККН.10.00.0000 СК	Ведений шків	1	
		11	КАІ.ККН.11.00.0000 СК	Опорне колесо	2	
		12	КАІ.ККН.12.00.0000 СК	Рама	1	
		13	КАІ.ККН.13.00.0000 СК	Захисний щит	2	
		14	КАІ.ККН.14.00.0000 СК	Ведучий шків	1	
				<u>Деталі</u>		
				<u>Стандартні вироби</u>		
		15		Муфта втулкова 16-16-11		
				ГОСТ 20761 – 75	1	
		16		Гідромотор ПМЛ - 63	2	
		17		Зубчатий пас ОН-6-07-5-63	1	

					<i>КАІ.ККН.00.00.0000 03</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Картоплекопач Принципова схема</i>	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		<i>Дорошенко</i>				<i>М</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
Перевірив		<i>Юхимчук</i>				<i>ЛНТУ, гр. АІм-21</i>		
Н. контр.		<i>Юхимчук</i>						
Затверд.		<i>Сацюк</i>						

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	К-ть	Примітка
				<u>Документація</u>		
			КАІ.ККН.00.00.0000ПЗ	Пояснювальна записка	1	
41			КАІ.ККН.05.00.0000СК	Бадиллебральний апарат	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	КАІ.ККН.05.01.0000СК	Рама	1	
		2	КАІ.ККН.05.02.0000СК	Бральний диск	2	
43		15	КАІ.ККН.05.03.0000СК	Кронштейн конуса	2	
				<u>Деталі</u>		
43		2	КАІ.ККН.05.00.0001	Кронштейн	1	
		7	КАІ.ККН.05.00.0002	Шайба	2	
43		9	КАІ.ККН.05.00.0003	Конус	2	
43		10	КАІ.ККН.05.00.0004	Ступиця конуса	2	
44		12	КАІ.ККН.05.00.0005	Диск	2	
44		20	КАІ.ККН.05.00.0006	Кронштейн	2	
43		21	КАІ.ККН.05.00.0007	Стояк	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		6		Болт М8×8g×35ГОСТ 7798-70	2	
		16		Болт М8×8g×50ГОСТ 7798-70	2	
		22		Болт М10×8g×60ГОСТ 7798-70	1	
		24		Болт М8×8g×70ГОСТ 7798-70	4	
		25		Болт М8×8g×200ГОСТ 7798-70	2	
		27		Болт М8×8g×100ГОСТ 7798-70	1	
		13		Гайка М10-6НГОСТ 5915-70	3	
		19		Гайка М8-6НГОСТ 5915-70	8	
		4		Гідромотор ПМЛ - 63	2	
		11		Заклепка 4x20ГОСТ 10300-80	24	

					<i>КАІ.ККН.05.00.0000СК</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Бадиллебральний апарат (складальне креслення)</i>	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		<i>Дорошенко</i>				<i>м</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
Перевірив		<i>Юхимчук</i>						
Н. контр.		<i>Юхимчук</i>				<i>ЛНТУ, гр. АІм-21</i>		
Затверд.		<i>Сацюк</i>						

